الفهـــرس

- **المقدمة**: 1- أهمية البحث. 5

2- الهدف من البحث ، مما يتألف. 6

1- الفصل الأول: ماهيـــة الغشـــاء الرقيق وخواص مركب كبريتيد الزنـــك ZnS

1-1- مقدمة عامة عن الأغشية الرقيقة: 7

1-1-1- مراحل تشكل الغشاء الرقيق. 7

1-1-2- أشكال نمو الغشاء. 9

1-1-3- العوامل المؤثرة على تكوين الغشاء. 10

1-2- تقنيات تصنيع الغشاء الرقيق. 11

1-3- خواص مادة كبريتيد الزنك ZnS . 17

2- الفصل الثاني: الخواص الضوئية للأغشية:

2-1- التداخل في الصفائح المتوازية الوجهين. 19

2-2- الطبقات الشديدة العكس. 21

2-3- الطبقات غير العاكسة. 24

2-4- حساب قرينة انكسار غشاء. 25

2-5- طريقة ثانية لحساب قرينة انكسار غشاء. 26

2-6- امتصاصية الغشاء و علاقته بمعامل الانطفاء. 27

2-7- عرض ثغرة الطاقة. 29

2-8- أبعاد الحبيبات البلورية. 29

3- الفصل الثالث: الدراسة المرجعية لأغشية ZnS .

3-1- دراسات البنية البلورية السابقة : 32

3-1-1- دراسة طيف انعراج الأشعة السينية. 32

3-1-2- دراسة أبعاد الحبيبات البلورية. 38

3-2- الدراسات الضوئية السابقة للأغشية الرقيقة. 39

3-2-1- حساب عرض ثغرة الطاقة. 39
3-2-2- الامتصاص. 44
3-2-3- النفوذية. 44
3-2-4- الانعكاسية. 48
3-2-5- قرينة الانكسار ومعامل الانطفاء. 48
3-2-6- زيادة مردود الخلية الشمسية بتوضيع أغشية ZnS عليها. 49

4- الفصل الرابع: التوضيع العملي لأغشية ZnS.

4-1- الأجهزة المستخدمة. 52
4-2- المواد المستخدمة في التجارب. 54
4-3- مراحل العمل التجريبي. 55
4-4- الشروط التجريبية المطبقة. 63

5- الفصل الخامس: تحليل النتائج التجريبية.

5-1- غشاء ZnS على ركائز زجاجية :
5-1-1- الدراسة البنيوية. 65
5-1-1-1- دراسة البنية البلورية. 65
5-1-1-2- حسابات بنيوية: 1- أبعاد الحبيبات البلورية. 69
2- عامل الانفعال. 69
3- كثافة عدم التموضع. 70
5-1-2- دراسة الخواص الضوئية: 72
5-1-2-1- النفوذية الضوئية للأغشية الموضعة. 72
5-1-2-2- حساب قرينة الانكسار من منحني الانعكاسية. 73
5-1-2-3- حساب قرينة الانكسار من منحني النفوذية. 74
5-1-2-4- حساب ثخانة الأغشية من خلال القانون التجريبي. 75
5-1-2-5- حساب عرض ثغرة الطاقة. 77
5-1-2-6- تغير عرض ثغرة الطاقة بتغير الثخانة. 81

5-1-2-7- حساب عرض ثغرة الطاقة آخذين بعين الاعتبار الامتصاص. 82
5-1-2-8- تغير عرض ثغرة الطاقة بتغير الثخانة. 86
5-1-2-9- منحنيات الامتصاص بدلالة طول الموجة. 87
5-1-2-10- حساب معامل الانطفاء. 88
5-1-2-11- دراسة تحسين مردود الخلية الشمسية باستخدام غشاء ZnS. 89
5-2- غشاء ZnS على ركائز سيليكون من النمطين N,P : 93
5-2-1- الدراسة البنيوية: 93
5-2-1-1- دراسة البنية البلورية. 93
5-2-1-2- حسابات بنيوية: 1- أبعاد الحبيبات البلورية. 101
2- عامل الانفعال. 103
3- كثافة عدم التموضع. 105
5-2-2- دراسة الخواص الضوئية: 107
5-2-2-1- النفوذية الضوئية. 107
5-2-2-2- منحنيات الامتصاص. 109
5-2-2-3- حساب قرينة الانكسار من منحني الانعكاسية. 110
5-2-2-4- حساب ثخانة الغشاء من القانون التجريبي. 110
5-2-2-5- حساب عرض ثغرة الطاقة من نظرية الامتصاص. 111
5-2-2-6- تغير عرض ثغرة الطاقة بتغير ثخانة الأغشية. 116

6- الفصل السادس: دراسة محاكية نظرية باستخدام برنامج الـ MATLAB

6-1- حساب عرض ثغرة الطاقة: 117
6-1-1- أولاً: عرض ثغرة الطاقة في حالة الطبقات الشديدة العكس. 118
6-1-2- ثانياً: عرض ثغرة الطاقة في حالة الطبقات غير العاكسة. 120
6-2- دراسة نظرية لانعكاسية غشاء ZnS. 122

7- الخاتمة. 124

8- المراجع. 126

9- الملحق(1): الصيغ التي تم من خلالها المحاكاة النظرية باستخدام برنامج الـ *MATLAB* 129

10- الملحق(2): بيانات جهاز الــ X-Ray. 138

مـــقـــدمـــة البحـــث:

أهمية البحث :

نستخدم في هذا البحث مركب كبريتيد الزنك **ZnS** لتوضيع أغشية منه على ركائز مختلفة وندرس خواصها نظراً لأهميتها حيث تركز الاهتمام مؤخراً على دورها الكبير في تقنية الفوتوفولطية وديودات الإصدار(الباعثة) (**LED**) للون الأزرق**[1]** وتطبيقاته الواسعة في أدوات الالكترونيات الضوئية (**optoelectronics**)**[2]**، ويستخدم في الوقت الحاضر كطبقة حماية في عدة أنواع من الخلايا الشمسية المصنعة بالأغشية الرقيقة وكأغشية ذات خواص ضوئية ووصلات حرارية لها **[1] [2] [3]**، حيث يحسن من مردود الخلايا الشمسية المصنعة في حالة الأطوال الموجية القصيرة ويؤدي إلى ارتفاع في تيار الدارة القصيرة. حيث تبدي الخلايا الشمسية التي حوت غشاء **ZnS** تجاوب محسن في اللون الأزرق بسبب عرض ثغرة الطاقة الأكبر (**3.7eV**) **[4]**، ويعرف كبريتيد الزنك أيضاً كمادة مفسفرة عالية الكفاءة، ويستخدم كمادة أساسية في أنبوب الأشعة المهبطية في المواد المصدرة للضوء **[5] [6]**، وهو من مواد الأغشية الرقيقة الواعدة للاستخدام ككواشف وبواعث وكمعدل في مواد الإلكترونيات الضوئية. ويمكن أن يستخدم كعاكس في حال وضّع الغشاء من تلك المادة على ركيزة قرينة انكسارها أصغر من قرينة انكسار الغشاء، وكمرشح غير ناقل بسبب ارتفاع قرينة انكساره وارتفاع نفوذيته للمجال المرئي **[7]**، وهو يستخدم في ليزرات نصف الناقل المصدر لضوء **uv** في الحفر بالضوء **[8]**.

يهدف هذا البحث إلى:

1) تحضير أغشية رقيقة من مادة **ZnS** بشروط توضيع مختلفة، وباستخدام التقنيات المناسبة .

2) دراسة الخواص الضوئية لهذه الأغشية :
- طيف الامتصاص.
- الانعكاسية.
- حساب قرينة الانكسار.
- النفوذية.
- البنية البلورية.

يتألف هذا العمل من عدة فصول :

الفصل الأول:

سنتناول فيه شرح عن مراحل تشكل غشاء كبريتيد الزنك ZnS والعوامل المؤثرة فيه، وتقنيات تصنيع الغشاء الرقيق، إضافة إلى خواص مادة كبريتيد الزنك ZnS.

الفصل الثاني:

يحوي الخواص الضوئية للغشاء الرقيق حيث سنبين فيه علاقات النفوذ و الانعكاس.

الفصل الثالث:

يتناول الدراسة المرجعية في غشاء ZnS حيث تندرج الدراسات السابقة المتعلقة بالبنية البلورية والخصائص الضوئية.

الفصل الرابع:

يحوي على التصنيع العملي لأغشية ZnS الموضعة على ركائز من الزجاج والسيليكون من النمطين N وP.

الفصل الخامس:

تم فيه تحليل النتائج التجريبية للحصول على الثوابت البصرية.

الفصل السادس:

يتألف من دراسة فيها محاكاة نظرية باستخدام برنامج الـ MATLAB، تم فيه تطبيق بعض المعادلات المستنتجة في الفصل الثاني ومقارنتها مع النتائج العملية التي تم الحصول عليها من تحليل العمل التجريبي في الفصل الخامس.

الخاتمة:

تحوي ملخص لنتائج هذه الدراسة ومقارنتها بنتائج الدراسات السابقة في الفصل الثالث.

الملحق الأول:

يحوي على صيغة برنامج الـ MATLAB التي استخدمت لإيجاد المنحنيات النظرية المحاكية للجزء العملي.

الملحق الثاني:

يحوي على بيانات جهاز انعراج الأشعة السينية التي تم مقارنتها مع طيف الانعراج للعينات المدروسة.

الفصـــل الأول

ماهيـــة الغشـــاء الرقيق وخواص مركب كبريتيد الزنـــك ZnS

1-1- مقدمة عامة عن الأغشية الرقيقة :

الغشاء الرقيق مادة غشائية صلبة تنمو على ركيزة من مادة مناسبة، وتكون ثخانة هذا الغشاء من رتبة النانومتر إلى بضع ميكرونات (حوالي 5 ميكرون) وإذا زادت ثخانته عن هذا الحد يدعى بالغشاء الثخين .[9]

وعموماً تم توضيع أغشية رقيقة من مواد مختلفة منها المعدنية والكهرنفوذية ونصف الناقلة والفائقة التوصيل والمغناطيسية لأغراض متعددة.

هناك عدة عوامل تؤثر في تشكيل الغشاء إما بشكل إيجابي أو سلبي:

1- إضافة ذرات إلى هذا الغشاء وهو عامل إيجابي.

2- إزالة ذرات من هذا الغشاء وهو عامل سلبي . والذي تتم بـــ :

1- ارتداد الذرات بعد الاصطدام (مرن).

2- تصعد الذرة إلى الفراغ بعد التصاقها بالسطح (يمكن أن يحدث هذا نتيجة تسخين الركيزة لدرجة حرارة عالية جداً مثلاً).[10]

فإذا كان العاملان متوازنان لا يحدث تشكل غشاء.

1-1-1- مراحل تشكل الغشاء يمكن أن تختصر على سبع خطوات :

1. التوافق (التكيف) الحراري: أي أن تكون الركيزة مهيئة حرارياً لاستقبال (التقاط) الذرات المصطدمة، حيث أن الالتقاط يحتاج لدرجة حرارة مناسبة والذرات المصطدمة ينبغي أن تفقد ما فيه الكفاية من الطاقة الحركية حتى تستطيع أن تستقر على السطح (أي يحدث تصادم لين يغير الطاقة الحركية وتتحول إلى طاقة داخلية) فالركيزة لا تملك طاقة حركية وطاقة الذرة تصرف.[11]



الشكل (1–1) : وصف تغيرات الطاقة للذرات التي تحاول الالتصاق لتشكيل الغشاء .

ويعطى معامل التركيب الحراري (α_τ)(**thermal accommodation coefficient**) (والذي يدل على إمكانية أو عدم إمكانية التصاق الذرات المبخرة بسطح الركيزة لتشكيل الغشاء من خلال معرفة طاقة كل من ذرات البخار والطاقة السطحية للركيزة وطاقة الذرات المرتدة) بالعلاقة : **[9]**

$$\alpha_\tau = \frac{E_V - E_r}{E_V - E_s} = \frac{T_V - T_r}{T_V - T_s} \qquad (1-1)$$

حيث E_V : الطاقة الحركية لذرات البخار الواردة على السطح ، E_r : الطاقة الحركية لذرات البخارالمرتدة عن السطح، E_s : الطاقة السطحية ، T_V : الطاقة الحرارية لذرات البخار الواردة إلى السطح ، T_r : الطاقة الحرارية لذرات البخار المرتدة عن السطح ، T_s : الطاقة الحرارية السطحية . (مع العلم أن **E=KT**)

بفرض أن الطاقة الحركية≡الطاقة الحرارية ، وحكماً T_r أصغر من T_V

- في حال كان α_τ أصغر ما يمكن فإن التصادم مرن ولا توجد خسارة في الطاقة (حالة مستبعدة)
- في حال كان α_τ أكبر ما يمكن يحدث ضياع كبير بالطاقة (حالة مثالية لتشكل غشاء)

حتى تقع الذرات وتلتصق بالسطح يجب أن تملك طاقة بخار أصغر من طاقة التصعيد وعملياً تحقق الذرات هذا الشرط في معظم عمليات التوضيع.

2. <u>الارتباط</u> : هنالك عملية تنافسية بين الذرات المرتطمة بالسطح أثناء عملية توضيعها و بين عملية انتزاع هذه الذرات عن السطح :

والتوضيع يحدد من خلال معدل التوضيع، في حين الانتزاع يحدد من خلال درجة حرارة الركيزة (التي سخنت كثيراً

ستتسبب بخفض عملية التوضيع حتى تتوقف) وتواتر الذرات (التي تحاول عدة مرات الانتزاع قبل أن تستقر على سطح الركيزة) [9].

3. انتشار السطح: بعد ارتباط الذرات بالسطح تتشكل عليه عناقيد مستقرة و قابلة للنمو فهي تمثل عامل جذب و بالتالي سيتشكل الغشاء، و حتى تتم عملية نمو هذه العناقيد تسقط الذرات على السطح وتتدحرج وتأخذ مناحي انتشار وتتجه نحو العناقيد لتنمو وتتحول لغشاء رقيق (فهي عملية عشوائية لكن فيها مسارات مفضلة)[9].

4. عملية التنوية: وهي عملية تشكل العنقود والتي يعرقلها وجود معدل انتزاع يعيق تشكل العنقود، أما الذي يخفض عملية الانتزاع ويحث على تشكل عنقود بشكل سريع هو كون سطح الركيزة غير مستوي أو يحوي على بعض النتوءات تؤدي إلى عرقلة تدحرج الذرات على السطح وبقائها زمناً كافياً لتتجمع وتشكل عنقود[9] .

5. نمو الجزر: وهو نمو العناقيد لتتحول إلى غشاء. وهنالك ثلاثة نماذج لنمو الجزر:

1- نمو ثلاثي الأبعاد للجزر وفي هذه الحالة تكون الذرات قوية الارتباط مع بعضها وارتباطها مع الركيزة أقل.

2- نمو طبقة طبقة ونحصل هنا على بنى بلورية عالية الجودة (وهنا السطح هو المتحكم وعملية الانتشار سريعة).

3- تنمية خليطة : بداية التنمية هنا طبقة ثم يحصل جزر ثلاثية الأبعاد .

6. اتحاد الجزر مع بعضها: ويتم بمغادرة الذرات والجزر الصغيرة باتجاه الكبيرة وابتلاع العناقيد الصغيرة التي تتحرك بعشوائية من قبل الكبيرة .

1-1-2- أشكال نمو الغشاء :

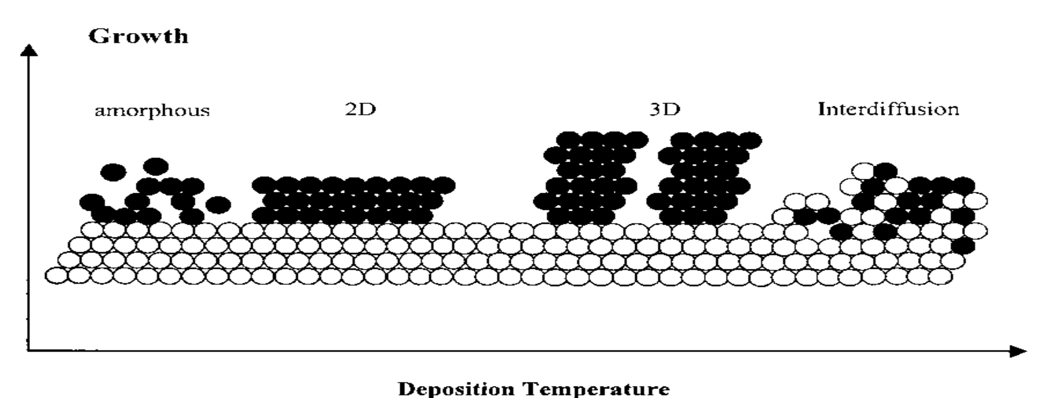
يتم تشكل الغشاء من خلال أربعة أشكال للنمو:

1) النوع 2D من النمو البطيء ينتج عنه سطح ناعم تماماً: وهو نمو ثنائي الأبعاد يشكل غشاء يمتد على سطح الركيزة.

2) النوع 3D تتكون فيه عناقيد سريعة النمو، وهو نمو ثلاثي الأبعاد يحدث منه عدد من العيوب خلال النمو، يعتمد على عدم التجانس بين الطبقات والركيزة.

3) النوع غير المتبلور.

4) نوع التبعثر الداخلي.



الشكل (2-1) : أشكال نمو الغشاء

1-1-3- العوامل المؤثرة على تكوين الغشاء :

1) **البنية البلورية للركيزة :** من العوامل الهامة التي تلعب دوراً هاماً في تشكل الغشاء و تؤثر في تبلور الغشاء وتحدد البنية البلورية للغشاء هي الركيزة .

- شروط اختيار الركيزة:

a) أن يكون عدم التوافق البلوري صغيراً جداً بين مادة الركيزة و مادة الغشاء،

بمعنى أن يكون هنالك تقارب في الأبعاد، والمعادلة المستخدمة عموماً لحساب عدم التوافق[12]:

$$F = (a_f - a_s)/a_s \quad \text{حيث} \quad a_f = (a+b)/2 \qquad (1-2)$$

و a_f: هو ثابت شبكة الغشاء، و a_s : هي ثابت شبكة الركيزة . حيث a,b ثوابت الشبكة البلورية للركيزة.

b) درجة حرارة عملية التبخير يجب أن تكون أقل من نقطة الانصهار ونقطة الانتشار لمادة الركيزة.

c) يجب أن لا يحدث تفاعل كيميائي بين الركيزة و الغشاء في درجات حرارة عالية.

2) **درجة حرارة الركيزة :**

عند وصول الذرات المراد توضيعها إلى الركيزة تكون معرضة لعدد من العمليات الحركية تتضمن الامتزاز والتطاير والتنوية وحتى إعادة التبخر، فإذا كانت الجسيمات تملك طاقة أعلى من طاقة الترابط المميزة فإنها تتبخر من جديد من سطح الركيزة إلى جو الحجرة لذلك نحتاج إلى تسخين الركيزة .

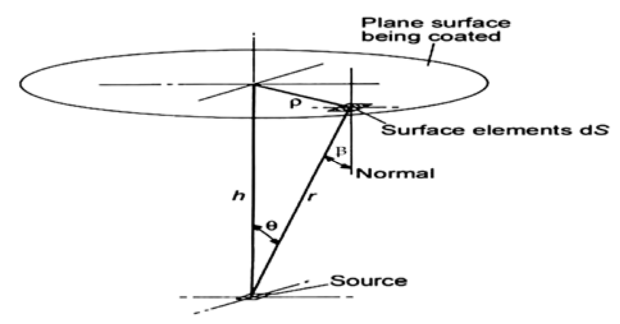
إضافة إلى أن تسخين الركيزة يؤمن سطح غير أملس يزيد من إمكانية حصول تنوية، أما الزيادة في تسخين الركيزة فيتسبب بإعادة تبخر الغشاء بعد أن يتشكل .
إضافة إلى أن الركيزة الباردة تسبب تكاثف البخار الساخن على سطحها فتتوزع السماكة بشكل غير متساوٍ، أما في الحالة التي تكون فيها درجة حرارة الركيزة مرتفعة بشكلٍ كافٍ فإن الذرات تمتلك طاقة حركية كافية لتعديل مواضعها على الركيزة بحيث تتوزع بشكلٍ متجانس.

3) تأثير موقع الركيزة ومساحتها :

إن الركائز المتواجدة فوق الهدف مباشرة تحصل على أعلى توضيع ممكن ويكون الغشاء أكثرها ثخانة وتقل ثخانة الغشاء تدريجياً مع إبعاد موقع الركيزة عن الهدف.
إضافة إلى أن كبر مساحة الركيزة الموضع عليها يسبب وجود غشاء متباين في السماكة بشكل واضح لذلك نلجأ إلى قص الركائز إلى مساحات صغيرة في محاولة للحصول على أغشية منتظمة السماكة بشكل تقريبي .
وتجدر الإشارة إلى إن زيادة مساحة سطح الهدف يقابله زيادة سطح التماس مع البوتقة، ينتج عنه حصول المادة على درجة الحرارة المناسبة للتبخير بشكل أسرع .[13]

4) تأثير دوران الركيزة أثناء التوضيع :

تكون ثخانة الغشاء في المنطقة التي تقع مقابل المادة المبخرة مباشرة (المادة الهدف المراد تصنيع الغشاء منها) أكبر ما يمكن، وتتناقص هذه الثخانة مع الابتعاد عن شاقول المادة الهدف، لذلك يسبب تثبيت الركيزة في مكان واحد عدم انتظام في ثخانة الغشاء لذلك نقوم بتدوير الركيزة أثناء التوضيع بوضعها على حامل دوار. [13]كما في الشكل .



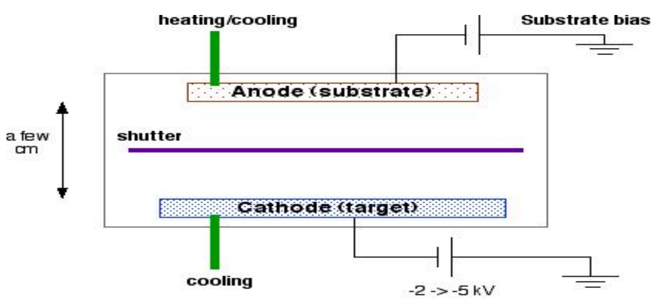
الشكل (3-1) : يوضح توضع الركيزة على الحامل الدوار و بعدها عن الهدف.

1-2- أهم تقنيات تصنيع الأغشية الرقيقة :

يتم توضيع الأغشية الرقيقة لجميع أنواع المواد بطرائق مختلفة نذكر بعضاً منها :

1-2-1-التوضيع بواسطة الترذيذ (DC Sputtering Deposition) :

المبدأ: في هذه التقنية تقتلع الذرات الهدف بقصف مادتها بجسيمات ذرية عالية الطاقة عادة ما تكون على شكل أيونات مشحونة تتسبب باقتلاع ذرات المادة الهدف التي تتوضع بدورها على الركيزة مشكلة الغشاء الرقيق **[14]**.



الشكل (1-4): مخطط تفصيلي لعملية التوضيع بواسطة الترذيذ

يكون كل من الهدف والركيزة موضوعين على لبوسين متوازيين داخل حجرة مملوءة بغاز خامل **Ar**. يطبق فرق جهد مستمر **DC** بالكيلوفولط على اللبوسين فتتحرك الإلكترونات الحرة العالية الطاقة بفعل الحقل الكهربائي لتتصادم تصادماً مرناً مع ذرات الأرغون ويحدث عندها أحد الاحتمالات التالية :

1) إذا كانت طاقة الإلكترون أقل من **2eV**: لا تستطيع الإلكترونات أن تؤين غاز الأرغون وما يحدث فقط هو تصادمات مرنة .

2) إذا كانت طاقة الإلكترون أكبر من **2eV**: تحدث تصادمات غير مرنة بين الالكترونات وذرات الأرغون تسبب انتقال للطاقة من الالكترونات للأرغون فتتسبب إما بإثارة الأرغون والحصول على غاز متوهج، أو تأين وذلك تقريباً من أجل طاقة ~ **15eV** وعندها**[14]** :

$$Ar + \bar{e} \rightarrow Ar^{+} + 2\bar{e}$$

وبالتالي تتجه أيونات الأرغون الموجبة التي تسرع باتجاه الكاثود (الهدف) وتقصف السطح بطاقة حركية عالية تؤدي إلى اقتلاع ذرات المادة الهدف، وفي الوقت نفسه تزداد سرعة الإلكترونات الجديدة المقتلعة من الهدف باتجاه الأنود مسببة تأيناً أكثر، ويتم اقتلاع ذرات الهدف من السطح بطريقة عشوائية لتغطي كل سطح الركيزة و ذلك يؤدي إلى نمو الغشاء الرقيق.

1-2-2-التوضيع بالتبخير : EVAPORATION :

المبدأ : توضع المادة المراد تبخيرها ضمن بوتقة مصنوعة من مادة درجة انصهارها عالية غالباً ما تصنع من التنغستين أو الموليبديوم، وتوضع الركيزة مقابلها مباشرة و تسخن البوتقة بتيار عالٍ وجهد منخفض فتنتقل الحرارة إلى المادة التي تتبخر وتتطاير بدورها في الخلاء دون أن تصطدم بذرات الغاز المتبقية. فتصطدم بسطح الركيزة حيث تتكثف وتتوضع عليها. من الممكن أن تتبخر مادة الوعاء عند تبخير مادة درجة انصهارها عالية جداً، الأمر الذي يؤدي إلى تلوث الغشاء المتشكل بمادة أخرى غير مرغوبة، يمكن التخلص من هذه المشكلة باستخدام طرق أخرى للتبخير كاستخدام المدفع الإلكتروني. يستخدم عادة في التبخير بهذه الطريقة مواد عديدة منها: ***Mg،Ca*** ، ***zn*** ، ***Sb*** ، ***Cr*** ، ***Sn*** ، ***Al*** ، ***Au،Ag*** ، كذلك يمكن تبخير الفلوريدات والكبريتدات (***ZnS،MgF2***) **[14,15]**

معاملات التبخير Evaporating parameters

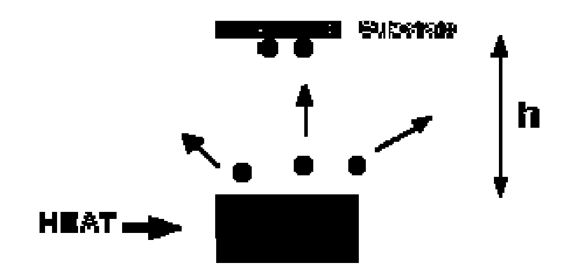
1- معدل التوضيع.

2- المسافة بين الركيزة و المصدر .

3- هندسة السطح .

4- ضغط التخلية .

5- التلوث .



الشكل (1-5): التبخير الحراري بواسطة السلك المقاوم .

العيوب :

مشكلة التلوث: إن مادة البوتقة تتبخرنتيجة الحرارة العالية لتبخير المادة الهدف وتسبب تلوث الغشاء المتوضع بذرات من مادة البوتقة.

مشكلة النقاوة في التبخير: المواد المكونة للمركب تتفكك عند درجات حرارة عالية تختلف بحسب نوع الذرات المكونة لذلك المركب، كل مكون له ضغط بخار مختلف للتبخر، وبالتالي معدل توضيع مختلف مما يؤدي إلى تكون غشاء تختلف نقاوته عن المصدر .

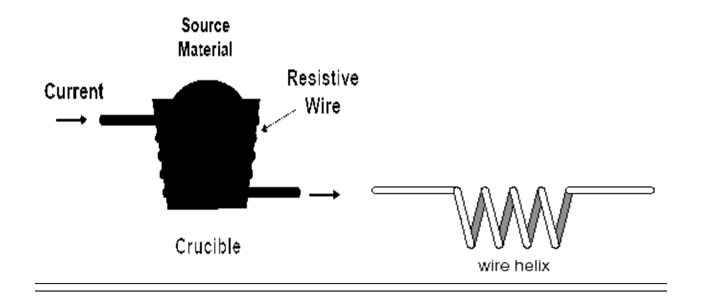
أنواع للتبخير الحراري **EVAPORATION** و صفاته نذكر منها :

➢ التبخير باستخدام الفتيل الحراري ***Thermal filament***

1) التجهيزات بسيطة.

2) عالية التوجيه.

3) وجود تلوث .



الشكل (**1–6**): أشكال الفتيل الحراري.

➢ التبخير بحزمة الالكترونات ***E-beam***

1) التلوث منخفض .

2) تحتاج طاقة أقل.

3) تحتاج درجة حرارة انصهار عالية للمواد ***T melt***

4) المصدر يسلك سلوك بوتقة خاصة.

Heating Method – e-Beam Heater

Electron Beam
Crucible
Magnetic Field
(beam focusing & positioning)
Focusing Aperture
Cathode Filament
Water Cooled Rotary Copper Hearth (Sequential Deposition)

الشكل (**1–7**): آلية التوضيع بالحزمة الالكترونية

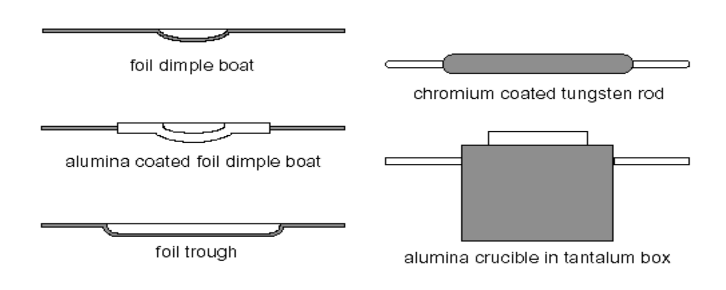
➢ التبخير الحراري :

1) الشوائب منخفضة .

2) رخيص .

3) عالية التوجيه .

4) محدودة المواد .



الشكل (**1–8**): أنواع البوتقات المستخدمة في التوضيع .

1-2-3- التوضيع بالاستئصال الليزري Laser Ablation Mechanics :

المبدأ: تتضمن هذه الطريقة لنمو الغشاء الرقيق تبخير هدف صلب في غرفة خلاء بواسطة نبضات ليزرية قصيرة، حيث يقوم الشعاع الليزري بتبخير سطح الهدف و يكثف البخار على الركيزة، ويعد حجم الهدف المطلوب في هذه العملية صغيراً مقارنة بالحجم الكبير المطلوب في بقية تقنيات التوضيع، مع إمكانية السيطرة على سمك الغشاء والحصول على غشاء مؤلف من طبقة واحدة وذلك بالتحكم بعدد نبضات الليزر[14].

الفوائد الرئيسية من هذه الطريقة :

1- بسيطة الاستخدام: فهي عبارة عن حزمة ليزرية تبخر سطح الهدف.

2- مرونة الاستعمال: العديد من المواد يمكن أن تبخر في أنواع مختلفة من الغازات داخل حجرة التوضيع على اختلافات واسعة من ضغوط الغاز .

3- مربح: لأن ليزر واحد يخدم العديد من أنظمة التفريغ.

4- تبخر هذه الطريقة العديد من المواد التي عادة تكون صعبة التوضيع بالطرق الأخرى.

5- نسبة التوضيع يمكن أن تكون هائلة والتوضيع السريع للجسيمات المستأصلة النشيطة يساعد في رفع درجة حرارة سطح الركيزة، لذلك هنا يجب عدم تسخين الركيزة إلى درجة حرارة مرتفعة لإنماء الغشاء لأن الحرارة العالية للركيزة تسبب تبخر الغشاء الموضع من جديد.

6- صغر سطح الهدف.

المساوئ :عدم وجود الانتظام إلا في منطقة صغيرة، فهنالك مشكلة في إنتاج المساحات الكبيرة .

1-2-4- الانماء بالحزمة الجزيئية (MBE) Molecular Beam Epitaxy :

المبدأ :

نقل المواد العضوية الطيارة البادرة (precursor) (البادرة هي مادة تتشكل منها مادة أخرى بالتفاعل الكيميائي أو الانحلال) التي تحتوي بعض الأيونات الموجبة إلى الركائز بواسطة حامل الغازات، والمواد البادرة التي على الركائز تكون قد تفسخت وأعيد تفاعلها لإعطاء المراحل المطلوبة[14].

فوائد هذه التقنية :

هي تقنية دقيقة جداً وقادرة على توضيع طبقة ذرية على طبقة ذرية ، وتغطي مساحة أكبر .

المساوئ:

مكلفة ومعقدة جداً، صعبة التطوير للمواد البادرة وصعبة السيطرة على معدل تدفق البادرة.

1-2-5- التوضيع باستخدام الحمام الكيميائي CBD (Chemical Bath Deposion):

تعد طريقة CBD مناسبة لإنتاج أغشية رقيقة من أجل تطبيقات الفوتوفولطية بسبب فعاليتها وفائدتها التي تفوق كلفتها إضافة إلى أن هذه الطريقة تتم في الضغط الجوي الطبيعي بالقرب من درجات الحرارة الطبيعية . [16]

و هي طريقة رخيصة أيضاً وهنا يمكن التحكم قليلاً بانتظامية الغشاء و سماكته و تركيزه من خلال تحقيق النسبة المئوية الأكثر ملائمة للثوابت الكيميائية المختلفة و التحكم بشروط التوضيع .[17]

1-2-6- الانماء بواسطة المحلول SGT (Soluion growth technique):

تعد تقنية SGT ذات تكلفة منخفضة وهي تقنية درجة حرارة منخفضة(أي لا تحتاج لتسخين حراري للركيزة والمحلول أثناء توضيع الأغشية) ولا تتطلب أدوات تصنيع خاصة ويمكن التحكم في التفاعل الكيميائي من خلال تعديل بارامترات الحمام مثل درجة الحرارة و PH .[18]

1-2-7- توضيع الغشاء بطريقة الترذيذ (البخ) PYROLYSIS :

تقنية الرذاذ وهي جيدة جداً بسبب بساطتها وكلفتها المنخفضة لكنها تعاني من مشكلة عدم التناسق (الانتظامية) على منطقة كبيرة .[19]

1-2-8- توضيع الطبقة الذرية ALD (Atomic Layer Deposition).

1-2-9- التوضيع باستخدام البخار الكيميائي CVD (chemical vapor deposition).

1-2-10- التوضيع الضوئي الكيميائي PCD (photochemical deposition).

1-2-11- التوضيع الكهركيميائي النبضي ECD (pulsed electrochemical deposition).

1-3- خواص مادة كبريتيد الزنك ZnS :

ينتمي ZnS إلى أنصاف النواقل المركبة (II–VI) والتي تتمتع بالصفات التالية :

تتراوح فجوة الطاقة من قيمة عريضة جداً إلى قيمة ضيقة جداً، لكن كل ثنائيات أنصاف النواقل من (II–VI) تملك ثغرة طاقية مباشرة .

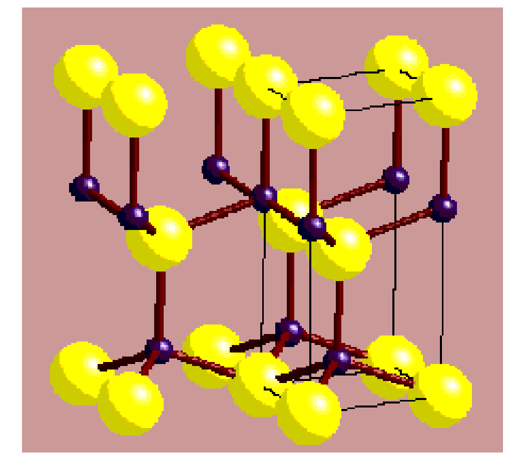
والمشكلة الأساسية في هذه المواد هي الصعوبة في تشكيل **n–type** و **p–type** لأنصاف النواقل(II–VI) على الركيزة نفسها، ومشكلة كلية في تشكيل اتصال أومي جيد، وهذه المشاكل منعت من استخدامها التجاري في صنع الديودات المصدرة للضوء المرئي **LEDS** واستبدل بها أنصاف النواقل من (III–V) .

يقدّر عرض ثغرة ZnS الطاقية بنحو 3.6eV، وثابت شبكته البلورية بنحو $5.4A^{\circ}$[20] ، وبما أن ZnS يقع في المجموعة (II–VI). فالرابطة ذات طبيعة مشتركة غالباً، إلا أن انزياح الشحنة هنا أكبر و المساهمة الأيونية في الرابطة أقوى والصفة القطبية أشد (أي الرابطة غير متناظرة فالمواد ليست مشتركة صرفة)، يؤدي اختلاف الذرتين إلى انزياح الرابطة نحو إحدى الذرتين و كنتيجة لذلك تكون لإحدى الذرتين شحنة كهربائية معينة لذلك تدعى الرابطة بالقطبية المختلفة[21].

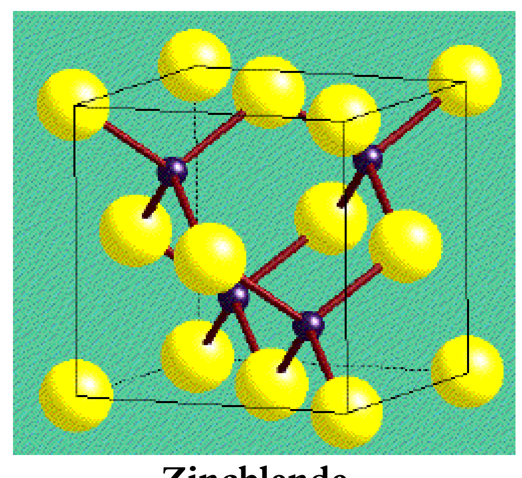
وفي الجدول (1-1) التالي أهم خواص ZnS(حيث$\alpha-ZnS$:البنية السداسية، و$\beta-ZnS$: البنية المكعبية):[22]

المادة	كثافتها g/cm^3	القساوة Kg/mm^2	النفوذية μm	عرض ثغرة الطاقة ev	قرينة الانكسار	نقطة الانصهار K
$\alpha-ZnS$	3.98	3.5(mohs)	–	–	2.378	2100
$\beta-ZnS$	4.09	178	0.4–125	3.68(D)	2.3505	1293
$\beta-ZnS(CVD)$	4.04	178	–	–	2.36	

كما يتواجد كبريتيد الزنك كبلورة في شكلين مكعبية وسداسية، والشكل المكعبي مستقر في درجة حرارة الغرفة في حين أن السداسية من أكثر تشكلات البنية السداسية المستقرة في درجات حرارة عالية في الضغط الجوي .[22]



wurtzite



Zincblende

الشكل (**9–1**): البنية السداسية والمكعبية لكبريتيد الزنك .

لكبريتيد الزنك النقي لون أبيض لامع، وهذا بالإضافة لصغر حجم جزيئاته يجعله صباغاً ذا قدرة استثنائية وقوة تظليلية عالية لا يسبقها سوى ثاني أوكسيد التيتانيوم . **[22]**

ونذكر إحدى طرق تحضيره: يتفاعل بخار الزنك أو أكسيد الزنك مع بخار الكبريت ليعطي كبريتيد الزنك ويسخن الناتج إلى درجة حرارة $700C°$ ليعطي البنية المكعبية **zincblende** وفي الدرجة $1150C°$ لإعطاء بنية السداسية **wurtzite**.
كلا الصيغيتين المنخفضة الحرارة(**cubic–zincblende**) والمرتفع الحرارة (**wurtzite**) لكبريتيد الزنك لها تنسيق رباعي منتظم من الزنك والكبريت، لكن ترتيب الجوار القريب مختلف كما نرى في الشكل (**9–1**)، ويتحول **zincblende** النقي إلى **wurtzite** عند الدرجة $1020C°$، لكن الشوائب تخفض درجة حرارة الانتقال .
في كلا الحالتين: تحتل ذرات الزنك مراكز الأسطح الرباعية (رباعي الوجوه)((**zinc occupies half the tetrahedral holes**))

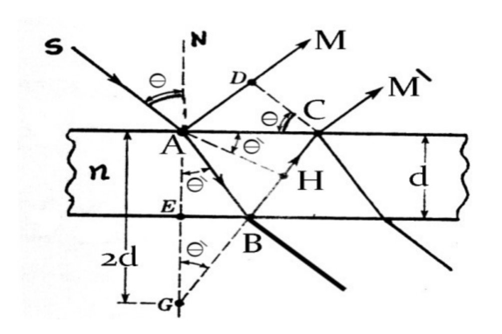
خواصه الضوئية مميزة أيضاً: حيث يشع وهو حالته الصلبة إشعاع عندما يثار بالأشعة فوق بنفسجية (تحت **335**نانومتر) والأشعة المهبطية وأشعة **x** وأشعة غاما وبواسطة حقل الالكتروني (تألق الكتروني).**[22]**

الفصل الثاني

الخواص الضوئية للأغشية الرقيقة

2-1- التداخل في الصفائح متوازية الوجهين:

يتم التعامل مع الغشاء الرقيق على أنه صفيحة متوازية الوجهين متجانسة ضوئياً سماكتها (**d**) وقرينة انكسارها (**n**) . لنفترض أن الشعاع الضوئي ($\overline{SA}$) المبين بالشكل (**2-1**)، يرد من الهواء إلى الوجه الأمامي للغشاء الرقيق في النقطة **A** بزاوية ورود θ. ينعكس جزء من هذا الشعاع وفق الشعاع (**AM**) ، وينكسر جزء منه بزاوية θ' وفق الشعاع (**AB**) ، وينعكس هذا الجزء الأخير في **B** على الوجه الثاني للغشاء ثم يعود إلى الوجه الأول في **C** وينكسر وفق (CM').



الشكل (**2-1**): الأشعة الواردة والبارزة والمنعكسة عن صفيحة متوازية الوجهين.

باعتبار أن الأشعة البارزة من **A** و **C** لا تختلف كثيراً في الشدة أما الأشعة البارزة من نقاط أخرى على نفس الوجه فيمكن إهمالها لأن شدتها تتناقص مع ازدياد الانعكاسات. والجدير بالذكر أن الشعاعين (**AM**) و(CM') هما شعاعين متوازيين لتوازي وجهي الصفيحة .لنحسب فرق المسير الضوئي بين هذين الشعاعين آخذين بالحسبان أنه عند انعكاس الضوء من وسط أقل كسراً (الهواء) على وسط أشد كسراً (الغشاء) يحدث تقدم في الطور بمقدار (π) وهذا يقابل تقدم في المسير بمقدار ($\frac{\lambda}{2}$) **[23]** .

يعطى فرق المسير الضوئي بين الشعاعين (**AM**) و(CM') حسب الشكل (**2-1**) بالعلاقة :

$$\Delta = n\left(A\overline{B} + B\overline{H}\right) - \frac{\lambda}{2} \qquad (2-1)$$

ومن المثلث (**ABC**) المتساوي الساقين نجد أن:

$$G\overline{H} = 2d \cos \theta' \quad (2-2)$$

$$A\overline{B} + B\overline{H} = G\overline{H} \quad (2-3)$$

وبالتالي تصبح علاقة فرق المسير الضوئي :

$$\Delta = n \cdot (G\overline{H}) - \frac{\lambda}{2} \quad (2-4)$$

$$\Delta = 2nd \cos \theta' - \frac{\lambda}{2} \quad (2-5)$$

حتى يتداخل الشعاعان تداخلاً بناءً يجب أن يكون فرق المسير الضوئي بين الشعاعين المتداخلين مساوياً عدداً صحيحاً من طول موجة الضوء الوارد :

$$\Delta = k\lambda \quad (2-6)$$

(2-7)

$$2nd \cos \theta' - \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

وبفرض أن الضوء يرد ناظمياً على الصفيحة، يكون لدينا :

$$\theta = 0 \Rightarrow \theta' = 0 \Rightarrow \cos\theta' = 1$$

وبتعويض ذلك في العلاقة (1) نحصل على :

$$2nd - \frac{\lambda}{2} = k\lambda \quad (2-8)$$

ومنه:

$$nd = (2k+1)\frac{\lambda}{4} \quad (2-9)$$

حيث **n**: قرينة الانكسار، **d**: السماكة الهندسية للغشاء، λ : الطول الموجي للضوء الوارد، (**2k+1**): رتبة التداخل حيث **k** عدد صحيح.

إذاً حتى يتداخل الشعاعان المنعكسان تداخلاً بناءً يجب أن يكون فرق المسير الضوئي بينهما هو عدداً فردياً من ربع طول موجة الضوء الوارد على الصفيحة.

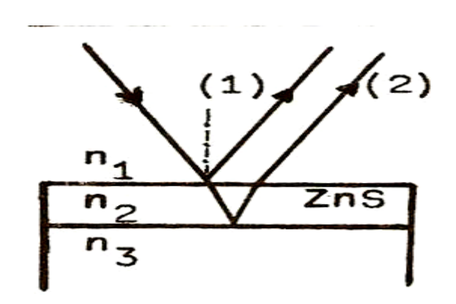
ونستفيد من الخواص الضوئية لتداخل الضوء المنعكس والوارد بالحصول على طبقات لها خواص ضوئية هامة كالطبقات الشديدة العكس لاستخدامها في تصنيع المرايا وغير العاكسة كطبقات مانعة للانعكاس للخلايا الشمسية .**[23]**

2-2- الطبقات الشديدةالعكس :

نعلم ان عامل الانعكاس في حالة الورود الناظمي على السطح الفاصل بين وسطين قرينة انكسارهما n_2 ، n_1 هو $R_1 = (\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1})^2$ [24]فإذا كان الوسط الأول هو الهواء قرينة انكساره $n_1 = 1$ ، والوسط الآخر هو زجاج قرينة انكساره تتراوح بين (1.4–1.7) ، فيكون معامل الانعكاس يتراوح بين (0.027–0.067) .

وأن أكبر قيمة لقرينة انكسار المواد العازلة الشفافة هي (2.5) التي تقابل عامل انعكاس (0.18) وهي قيمة ليست كبيرة.

ولزيادة شدة الانعكاس نغطي السطوح الشفافة (ومنها الزجاجية) بغشاء رقيق من مادة عازلة قرينة انكسارها عالية نسبياً مقارنة بالزجاج مثل كبريتيد التوتياء ZnS (n=2.3) .



الشعاع الوارد على غشاء ZnS موضع على ركيزة زجاجية بزاوية ورود صغيرة ينعكس جزء منه على السطح الفاصل الأول ويعاني فرقاً في المسير مقداره $\frac{\lambda}{2}$ (أي فرقاً في الطور مقداره π)، أما الجزء الآخر فينفذ إلى السطح الفاصل الثاني وينعكس عنه ويعود ليخرج إلى الهواء بعد أن ينكسر .

ويكون مسار الشعاع (2) أكبر من مسار (1) بمقدار $\frac{\lambda}{2}$ على اعتبار أنه اخترق طبقة ZnS سمكها $\frac{\lambda}{4}$ ناظمياً مرتين و بالتالي يكون الشعاعان (1) و (2) متفقين بالطور، يتداخلان مع بعضهما وتعطى عندها

شدة الضوء النافذ من الزجاج بإهمال الامتصاص داخل الصفيحة بالعلاقة [24]:

$$I_t = I_0 \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4RSin^2\frac{\varphi}{2}} = I_0 \frac{T^2}{1+R^2-4R(\frac{1-Cos\varphi}{2})} \quad (2-10)$$

$$I_t = I_0 \frac{T^2}{1+R^2-2R+2R-2RCos\varphi} \quad (2-11)$$

ونعلم أنه عند توضيع مادة عازلة على السطح الزجاجي (أو سطح آخر) يكون عاملا الانعكاس لسطحي الفصل المحيطين بالمادة ZnS هو:

$$R_2 = (\frac{n_3 - n_2}{n_3 + n_2})^2 \quad و \quad R_1 = (\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1})^2 \qquad (2-12)$$

و مع إهمال الامتصاص داخل الصفيحة نعتبر :

$$T_2 = 1 - R_2 \quad ، \quad T_1 = 1 - R_1 \qquad (2-13)$$

وفي هذه الحالة نعوض عن قيمة **R** و **T** بـــــ :

$$R^2 = R_1 R_2 \longleftarrow R = \sqrt{R_1 R_2} \qquad (2-14)$$

$$T^2 = T_1 T_2 \longleftarrow T = \sqrt{T_1 T_2} \qquad (2-15)$$

و بالتالي نعوض في العلاقة (**2-11**):

$$I_t = I_0 \frac{T_1 T_2}{1 + R^2 + 2RCos\varphi} \qquad (2-16)$$

$$I_t = I_0 \frac{(1 - R_1)(1 - R_2)}{1 + R_1 R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2} Cos\varphi} \qquad (2-17)$$

نلاحظ في العلاقة (**2-17**) أن أكبر قيمة لشدة الانعكاس تكون عندما يكون I_t أقل ما يمكن وهذا يتحقق عندما $Cos\varphi = -1$ أي عندما $\varphi = (2K+1)\pi$ ، ونعلم أن أصغر قيمة لشدة الانعكاس تكون عندما $\Delta = (2K-1)\frac{\lambda}{2}$:

$$\frac{2\Delta}{\lambda} = 2K - 1 \implies 1 + \frac{2\Delta}{\lambda} = 2K \quad لكن \quad \varphi = (2K+1)\pi$$

$$\varphi = 2K\pi + \pi = (1 + \frac{2\Delta}{\lambda})\pi + \pi = \pi + \frac{2\Delta\pi}{\lambda} + \pi$$

$$\implies \varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta \qquad (2-18)$$

لكن Δ فرق المسير الضوئي يساوي في حالة الورود الناظمي :

$$\Delta = 2n_2 d \qquad (2-19)$$

$$\varphi = (2K+1)\pi = \frac{2\pi}{\lambda}(2n_2 d) \qquad (2-20)$$

$$n_2 d = \frac{\lambda}{4}(2K+1) \qquad (2-21)$$

والقيمة العظمى لشدة الانعكاس المقابلة لأصغر ثخانة غشاء **d** ممكنة عندما **1=** (**2K+1**) أي $n_2 d = \frac{\lambda}{4}$ $n_2 d = \frac{\lambda}{4}$ في حال كانت الركيزة من زجاج قرينة انكساره (**n=1.5**) مغطاة بغشاء **ZnS** (**n=2.3**) بسماكة ضوئية قدرها $\frac{\lambda}{2}$ بتماس مع الهواء:

$$R_2=(\frac{2.3-1.5}{2.3+1.5})^2=0.044 \quad و \quad R_1=(\frac{2.3-1}{2.3+1})^2=0.155$$

و عند $Cos\ \varphi = -1$ يكون $\Longleftarrow \frac{I_r}{I_0}=0.311$ وهو يمثل عامل انعكاس الجملة .

في حال عدم وجود غشاء من **ZnS** على السطح الزجاجي فإن :

$$R=(\frac{1.5-1}{1.5+1})^2=0.04 \quad \Longrightarrow \quad I_t=I_0\frac{(1-R^2)}{1+R^2+2R}=I_0 0.852$$

$$\Longrightarrow \quad \frac{I_r}{I_0}=0.148$$

أي أن شدة الانعكاس تهبط إلى النصف تقريباً **[24]** .

في حال كانت $Cos\ \varphi = -1$ يكون عامل انعكاس الجملة هو : $R_M=\frac{I_r}{I_0}$

حيث

$$I_r=I_0-I_t=I_0-I_0\frac{(1-R_1)(1-R_2)}{1+R_1R_2+2\sqrt{R_1R_2}}$$

$$I_r=I_0[\frac{\sqrt{R_1}+\sqrt{R_2}}{1+\sqrt{R_1R_2}}]^2 \tag{2-22}$$

$$R_M=\frac{I_r}{I_0}=[\frac{\sqrt{R_1}+\sqrt{R_2}}{1+\sqrt{R_1R_2}}]^2 \tag{2-23}$$

و هنا تكون الطاقة النافذة صغرى، وعند التعويض بالعلاقة (**2–12**) تصبح العلاقة (**2–23**) بالشكل:

$$R_M=[\frac{(\frac{n_2-n_1}{n_2+n_1})+(\frac{n_3-n_2}{n_3+n_2})}{1+(\frac{n_2-n_1}{n_2+n_1})(\frac{n_3-n_2}{n_3+n_2})}]^2 \tag{2-24}$$

$$R_M=[\frac{\frac{(n_2-n_1)(n_3+n_2)+(n_3-n_2)(n_2+n_1)}{(n_2+n_1)(n_3+n_2)}}{1+\frac{(n_2-n_1)(n_3-n_2)}{(n_2+n_1)(n_3+n_2)}}]^2$$

$$R_M=[\frac{(n_2-n_1)(n_3+n_2)+(n_3-n_2)(n_2+n_1)}{(n_2+n_1)(n_3+n_2)+(n_2-n_1)(n_3-n_2)}]^2 \tag{2-25}$$

وباعتبار أن **n** للهواء يساوي الواحد، يصبح عامل انعكاس الجملة **[25]**:

$$R_M[\frac{n_2n_3-n_2}{n_2n_3+n_2}]^2=[\frac{n_3-1}{n_3+1}]^2 \qquad (2-26)$$

2-3- الطلاء السطحي الذي يجعل السطوح الضوئية غير العاكسة:

عند توضيع طبقة من مادة رقيقة شفافة من مادة عازلة قرينة انكسارها أقل من قرينة انكسار الركيزة وبسماكة ضوئية قدرها $\frac{\lambda}{2}$ يمكن أن تنعدم شدة الانعكاس تماماً عن هذا السطح .

ففي حالة الورود الناظمي على سطح غطي بغشاء رقيق من مادة قرينة انكسارها أقل من قرينة انكسار الركيزة. فإنه يحدث تغير في الطور بمقدار π على كلا سطحي الفصل، ولكن الشعاع (2) يتقدم على الشعاع (1) بفرق مسير قدره $\frac{\lambda}{2}$ بسبب اختراقه الغشاء ناظمياً مرتين وهذا يؤدي إلى تغير في الطور بمقدار π أي أن الشعاعين يكونان على تعاكس في الطور فإذا كانا متساويين في السعة تنعدم محصلتهما أي تنعدم شدة الانعكاس[25].

على اعتبار أن شرط انعدام الانعكاس : $I_r = 0 \Leftarrow I_t = I_0$.

بالتعويض في العلاقة (2-17):

$$I_t = I_0\frac{(1-R_1)(1-R_2)}{1+R_1R_2-2\sqrt{R_1R_2}Cos\varphi}$$

وحتى يكون I_t أكبر ما يمكن يجب أن يكون $Cos\ \varphi = 1$

$$I_t = I_0\frac{1+R_1R_2-(R_1+R_2)}{1+R_1R_2-2\sqrt{R_1R_2}} \qquad (2-27)$$

يكون $I_t = I_0$ **عندما** $R_1+R_2=2\sqrt{R_1R_2} \Leftarrow$

$$R_1^2+R_2^2+2R_1R_2=4R_1R_2$$

$$(R_1-R_2)^2=0 \implies R_1=R_2 \qquad (2-28)$$

أي أن:

$$(\frac{n_2-n_1}{n_2+n_1})^2=(\frac{n_3-n_2}{n_3+n_2})^2 \implies n_2=\sqrt{n_1n_3} \qquad (2-29)$$

فإذا كانت قرينة انكسار الغشاء تساوي المتوسط الهندسي لقرينتي انكسار n_1, n_3 تتساوى سعتا الشعاعين وبالتالي تنعدم محصلتهما لتعاكسهما في الطور[25] .

يصبح عامل انعكاس الجملة مع العلم أنه في هذه الحالة $Cos\ \varphi = 1$

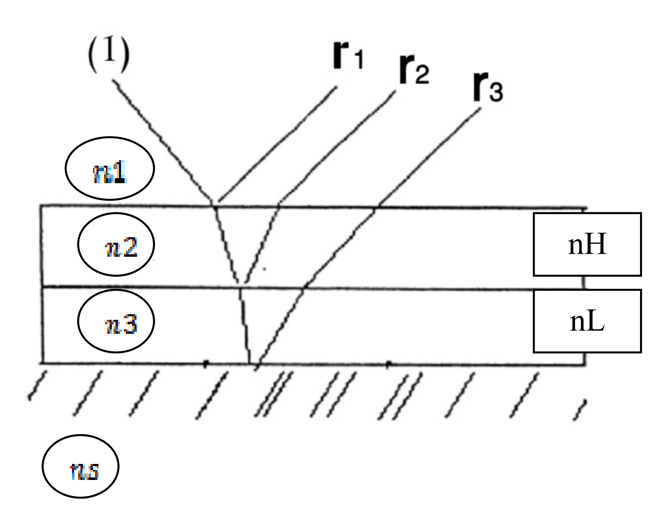
$$I_r = I_0 \frac{R_1 + R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2}}{1 + R_1 R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2}} = I_0 \frac{(\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2})^2}{(1 - \sqrt{R_1 R_2})^2}$$

$$R_M = \frac{I_r}{I_0} = [\frac{\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2}}{1 - \sqrt{R_1 R_2}}]^2 \qquad (2\text{-}30)$$

وفي كلا الحالتين (الطبقات الشديدة الانعكاس وغير العاكسة) يمكننا حساب عرض ثغرة الطاقة المباشرة لكبريتيد الزنك، وقياس ثخانات الأغشية الرقيقة التي تم توضيعها، وحساب قرينة انكسار الغشاء مع العلم أن قرينة انكسار الغشاء تختلف عما هي عليه في حالة الجسم الصلب، إضافة إلى حساب معامل الانطفاء، وفي ما يلي شرح الطريقة للوصول إلى ذلك .

2-4- حساب قرينة انكسار الغشاء :

يمكن حساب قرينة انكسار غشاء رقيق أو عدة أغشية رقيقة موضعة فوق بعضها بعدة طرق نذكر منها طريقة القرينة المكافئة:



عندما يرد شعاع من الهواء ذي قرينة الانكسار (**n1**) على سطح الغشاء المكون من طبقتين، الأولى قرينة انكسارها (**n2**) والأخرى قرينة انكسارها (**n3**) موضعتين على ركيزة قرينة انكسارها (n_s) فإنه يخضع للعمليات التالية:

1- انعكاس جزء منه عند السطح الفاصل (n_1-n_2) حسب عاكسية فرينل، حيث تعطى عبارة سعة الموجة المنعكسة بالعلاقة:

$$r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \qquad (2\text{-}31)$$

مما يؤدي إلى دوران الشعاع بزاوية (π) .

2- ينفذ الجزء الآخر منه من خلال الطبقة الأولى وينعكس عند السطح الفاصل (n_3-n_2) ويخضع لفرق في الطور.

3- ينفذ جزء آخر من الشعاع من خلال الطبقة الثانية وينعكس عند السطح الفاصل (n_2-n_s) فيعاني فرقا آخرا بالطور.

إذاً حتى نحصل على عاكسية عظمى يجب أن نتحكم بفرق الطور ونجعله معدوماً، وحتى نحصل على عاكسية معدومة نجعل فرق الطور مساوياً (π)، وذلك عن طريق التحكم بالسماكة بحيث تدور الأشعة (r_1) و(r_2) و(r_3) وتنطبق على بعضها البعض **[12]**.

وتعطى عبارة شدة الموجة المنعكسة عن جملة الركيزة والغشاء حسب قانون فرينل بالشكل:

$$R = \left(\frac{n_1 - n_e}{n_1 + n_e}\right)^2 \tag{2-32}$$

حيث : n_e : قرينة الانكسار المكافئة لجملة الركيزة وطبقة الغشاء .

وعلى اعتبار أن $n_1 = 1$ للهواء فإن
$$n_e = \left(\frac{1+\sqrt{R}}{1-\sqrt{R}}\right) * n_1$$

التي من خلالها نحسب قرينة انكسار الغشاء فقط n_f من العلاقة :

$$n_e = \frac{n_f^2}{n_s} \tag{2-33}$$

باعتبار أن قرينة انكسار الركيزة الزجاجية في حالة غشاء كبريتيد الزنك الشديد العكس ($n_s - 1.5$) ، وقرينة انكسار ركيزة السيليكون في حالة غشاء كبريتيد الزنك غير العاكس ($n_s = 3.2$) .

2-5- الطريقة الثانية لحساب قرينة انكسار الغشاء :

نظراً لكون امتصاصية الغشاء الرقيق صغيرة ومهملة، عندها تكون نفوذية الأغشية عند نقاط أرباع وأنصاف طول الموجة تابعاً بسيطاً لـــ n_f, k_f وهما معامل انطفاء و قرينة انكسار الغشاء الرقيق. من المنحنيات تقدر قيمة أرباع طول الموجة وأنصافها على اعتبار أن الثخانة لا تتغير إلا بشكل مهمل .

هذا يعطي من مجال الأطوال الموجية قيمتين لـــ T نرمز لهما بـــ T_{max}, T_{min} ، باعتبار أن الغشاء يملك قرينة انكسار أكبر من قرينة انكسار الركيزة يكون معامل الامتصاص مساوٍ **[26]** :

$$\alpha = \frac{C_1[1-(T_{\max}/T_{\min})^{1/2}]}{C_2[1+(T_{\max}/T_{\min})^{1/2}]} \tag{2-34}$$

حيث يرتبط معامل الامتصاص بكل من ثخانة الغشاء و معامل الانطفاء بالعلاقة التالية :

$$\alpha = \exp(-4\pi\, k_f\, d_f/\lambda) \quad (2-35)$$

حيث أنه من أجل ثخانة ربع أو نصف طول موجي يكون $4\pi\, k_f\, d_f/\lambda = m\,\pi$ ، (**m=1,2,3,...**)

وكل من C_1 و C_2 يعطيان بالعلاقة التالية :

$$C_1 = (n_f + n_0)(n_m + n_f) \quad (2-36)$$

$$C_2 = (n_f - n_0)(n_m - n_f) \quad (2-37)$$

حيث أن $\mathbf{n_m}$: قرينة انكسار الركيزة، $\mathbf{n_0}$: قرينة انكسار الهواء، $\mathbf{n_f}$: قرينة انكسار الغشاء.

وكذلك : T_{max}, T_{min} يعطيان بالعلاقة التالية :

$$T_{max} = 16 n_0\, n_m n_f^2\, \alpha / (C_1 + C_2\alpha)^2 \quad (2-38)$$

$$T_{min} = 16 n_0\, n_m n_f^2\, \alpha / (C_1 - C_2\alpha)^2 \quad (2-39)$$

عندها يمكن أن نعرف المقدار $\mathbf{N^*}$:

$$N^* = \frac{n_0^2 + n_m^2}{2} + 2 n_0 n_m \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}\; T_{min}} \quad (2-40)$$

ومن العلاقة السابقة يمكن حساب قرينة انكسار الغشاء n_f :

$$n_f = [N^* + (N^{*2} - n_0^2 n_m^2)^{1/2}]^{1/2} \quad (2-41)$$

يمكن في هذه الحالة حساب معامل الامتصاص α الذي من خلاله يمكن إيجاد ثخانة الغشاء من العلاقات السابقة، ويحسب بعدها معامل الانطفاء من معرفة معامل الامتصاص وثخانة الغشاء.

2-6- امتصاصية الغشاء وعلاقته بمعامل الانطفاء :

نعلم أن سرعة انتشار الموجة الكهرطيسية عبر الأجسام الصلبة تعطى من خلال قرينة الانكسار العقدية المرتبطة بالتواتر بالعلاقة :

$$N = n - ik \quad (2-42)$$

حيث يحسب الجزء الحقيقي **n** من خلال السرعة ، و يحسب معامل الانطفاء **k** من خلال تباطؤ (تناقص) سعة اهتزاز الحقل الكهربائي الوارد .

تتحدد الخواص الضوئية للأجسام الصلبة في هذه الحالة من خلال التفاعل بين الجسم الصلب والحقل الكهربائي للموجة الكهرطيسية .

فإذا انتشرت موجة عبر الجسم الصلب بتواتر(ν) وبسرعة (**v**) وفق اتجاه معين (**X**)، يمكن التعبير عن الحقل الكهربائي في هذه الحالة بالمعادلة الموجية التالية **[27]**:

$$E = E_0 \exp\{i2\pi\nu[t-(\frac{x}{V})]\} \qquad (2\text{–}43)$$

حيث E_0 سعة الحقل الكهربائي ، و المقدار $\{i2\pi\nu[t-(\frac{x}{V})]\}$: الإزاحة في اللحظة **t** بعد الاضطراب الذي حصل نتيجة وجود الحقل الكهربائي في النقطة المعتبرة عند الموضع **X** على طول خط الإزاحة .

وبما أن سرعة الانتشار عبر الجسم الصلب ذي قرينة الانكسار العقدية $N = n - ik$

مرتبطة بسرعة الضوء في الخلاء (**C**) من خلال $V = \frac{C}{N}$ ، عندها :

$$\frac{1}{V} = \frac{n}{C} - \frac{ik}{C} \qquad (2\text{–}44)$$

بتعويض قيمة **1/V** في المعادلة السابقة نحصل على :

$$E = E_0 \exp(i2\pi\nu t)\exp(\frac{-i2\pi\nu xn}{C})\exp(\frac{-2\pi\nu kx}{C}) \qquad (2\text{–}45)$$

حيث يمثل القوس الأخير معامل الانطفاء $(\frac{-2\pi\nu kx}{C})$.

حيث يعطى معامل الامتصاص α بدلالة معامل الانطفاء **k** بالعلاقة: $\alpha = \frac{4\pi\nu k}{C}$.

وبما أن سرعة الضوء في الخلاء : $C = \nu\lambda$ ، عندها يكون معامل الامتصاص $\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda}$ ،

حيث يمتص الإشعاع إلى مدى يعتمد على طول موجته و ثخانة الغشاء وطبيعة الوسط .

بالنسبة إلى عملنا التجريبي بما أن $\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda}$ أي $\Longleftarrow$ $k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi}$

$$k = \frac{\lambda}{4\pi d}\ln(\frac{I}{I_0}) \qquad (2\text{–}46)$$

$$k = \frac{\lambda}{4\pi d}\ln(T) \qquad (2\text{–}47)$$

وهي العلاقة التي تحدد قيمة معامل الانطفاء، حيث **I** شدة الشعاع النافذ ، I_0 شدة الشعاع الوارد .

2-7- عرض ثغرة الطاقة :

نعلم أن معامل الامتصاص يعطى بالعلاقة :

$$I = I_0 e^{-\alpha d} \rightarrow \alpha = \frac{1}{d}\ln(\frac{I}{I_0}) \qquad (2-48)$$

تعطي نظرية الامتصاص الضوئي العلاقة بين معامل الامتصاص α و طاقة الفوتون $h\nu$:

$$\alpha = A(h\nu - E_g)^n / h\nu \qquad (2-49)$$

حيث تأخذ n القيمة ½ من أجل الانتقال المباشر المسموح، والقيمة 2 للانتقال غير المباشر المسموح، و3/2 للانتقال المباشر غير المسموح ، و3 للانتقال غير المباشر غير المسموح على الترتيب .[33]

وبما أن كبريتيد الزنك نصف ناقل ثغرته الطاقية مباشرة، نحسب عرض ثغرة الطاقة المباشرة المسموحة برسم تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ و نستنتج قيمة عرض ثغرة الطاقة من القسم الخطي للمنحني.

2-8- أبعاد الحبيبات البلورية:

عند تشكل الغشاء الرقيق يبدأ أولاً بظهور حبيبات صغيرة تنمو إلى أن تتصل ببعضها، وكبر هذه الحبيبات دليل على مقدار تبلور الغشاء، وأفضل طريقة عادة لقياس أبعاد الحبيبات البلورية استخدام المجهر الإلكتروني TEM، إضافة إلى إمكانية قياسها من انعراج الأشعة السينية فهو ليس مقصوراً على إيجاد البنية البلورية للمادة، وإنما يمكن استخدامه للحصول على معلومات عن البنية الدقيقة لهذه المادة. ففي عام 1918 نشر شيرر Scherrer علاقة أظهرت تزايد عرض قمة براغ مع تناقص أبعاد الحبيبات البلورية المكونة للمادة.[28]

أصبحت هذه العلاقة فيما بعد شهيرة جداً في مجال توصيف العينات متعددة البلورات[28]، يمكن التعبير عنها بالشكل:

$$L = \frac{k\lambda}{\beta Cos\theta} \quad : \quad \textbf{Debye Scherrer} \qquad (2-50)$$

حيث يدل L: على بعد الحبيبة البلورية، وλ : طول موجة الأشعة السينية المستخدمة للحصول على الطيف، وهي هنا تساوي طول موجة $CuK_{\alpha1}$ أي λ=1.5406A°، وتمثل θ: موقع قمة براغ في الطيف، بينما k: ثابت، قيمته قريبة من الواحد، وهو يتعلق بشكل الحبيبات البلورية و بالمستوى الشبكي الموافق للقمة المعتبرة هنا. إذا فرضنا شكلاً كروياً للحبيبات البلورية فإنه يمكن فرض (k=0.9)، وهو الخيار الذي اتخذناه في حساب أبعاد هذه الحبيبات في العينات المدروسة في هذا البحث. فتصبح العلاقة:

$$L = \frac{0.9\lambda}{\beta Cos\theta} \qquad (2-51)$$

أما β: فهي تساوي العرض الفعلي لقمة براغ عند منتصفها (مقدراً بالراديان **rad**)، وهو يحسب من العلاقة:

$$\beta = \sqrt{\beta_m^2 - \beta_a^2} \qquad (52-2)$$

حيث تمثل β_m : عرض القمة المستخلص من طيف الانعراج، و β_a : هو تعريض الجهاز، وهو يساوي عرض قمة براغ لعينة السيليكون المستخدمة لاحقاً كركيزة تم توضيع غشاء **ZnS** عليها **[28]**.

مع العلم أن هذه العلاقة تعطي أبعاد الحبيبات البلورية التي فيها انعراج الأشعة السينية بشكل متوافق، وأن حجم هذه الحبيبات المقاسة من طيف انعراج الأشعة السينية هو غالباً أصغر من حجم الحبيبات البلورية الذي نحصل عليه بطرق أخرى مثل المجهر **TEM** (المجهر الإلكتروني بالنفوذ).

يتغير عرض قمم براغ متأثراً بعوامل أخرى، غير حجم الحبيبات البلورية، مثل شكل هذه الحبيبات وتوزع هذه الأشكال في العينة، وأي سبب آخر يشوه البلورة مثل الانفعالات الدقيقة **strain** أو الانخلاعات **dislocation** أو وجود انزياحات دورانية للمستويات الشبكية بالنسبة لبعضها البعض.

وتصلح هذه العلاقة لقياس أبعاد حبيبات أقل من **1000** انغستروم، نظراً لكون قمم انعراج الأشعة السينية بعدها حادة جداً، وتصبح قيمة β معدومة نظراً لشدة حدة قمة انعراج الأشعة السينية .

وكطريقة بسيطة لقياس أبعاد حبيبات الأغشية ذات الثخانات الكبيرة يمكن أخذ صورة لحبيبة قيست أبعادها بدقة واعتبارها قياساً مرجعياً يحسب من خلاله أبعاد حبيبة مجهولة من خلال أخذ صورة لها ومقارنتها بالأبعاد المرجعية للحبيبة المعروفة .

يمكن أيضاً حساب أبعاد الحبيبات من خلال معرفة عرض ثغرة طاقة غشاء **ZnS** وطاقة الجسم الصلب من المادة، من خلال العلاقة التالية التي تربط بين نصف قطر الحبيبة **R** والفرق في عرض ثغرة الطاقة بين الجسم الصلب والغشاء ΔEg :

$$\Delta Eg = \frac{h^2\pi^2}{2R^2}\left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*}\right) - \frac{1.786e^2}{\varepsilon R} \qquad (2-53)$$

حيث **h**: هو ثابت بلانك، و m_e^* : الكتلة الفعالة للالكترون، و m_h^* : الكتلة الفعالة للثقب، و **ε**: ثابت العزل الكهربائي.

ولدينا $m_e^*=0.34m_0$ ، و $m_h^*=0.23m_0$ ، حيث m_0: كتلة الالكترون الحر**[29]**.

وعلى اعتبار أن **X=1/R** ، وتعويض قيم الثوابت في العلاقة السابقة نحصل على علاقة من الدرجة الثانية بالنسبة لــ **X** بحلها نحصل على قيمة أبعاد الحبيبات البلورية ، ويكون أكثر دقة كلما زاد حجم الحبيبة (أي أصبح أكبر من **10nm**):

$$\Delta Eg = 2.77x10^{-35} X^2 - 3.47x10^{-28} X \qquad (2-54)$$

حيث ΔEg : يمثل الانزياح عن Eg الصلب و يحسب من العلاقة:

$$\Delta Eg = \mathbf{Eg(bulk) - Eg(thin)} \qquad \mathbf{(2\text{-}55)}$$

وبالتالي يمكن حساب نصف قطر الحبيبة من خلال حساب عرض ثغرة الطاقة للغشاء، وإيجاد الفرق في قيمة عرض ثغرة الطاقة بين الغشاء والمادة الجرمية وتعويضها في العلاقة (2-54) وحل هذه المعادلة من الدرجة الثانية يمثل مقلوب أبعاد الحبيبات البلورية للغشاء [29] .

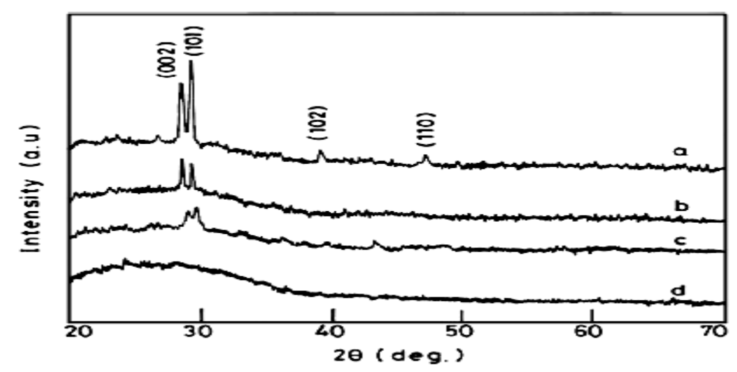
الفصل الثالث

الدراسة المرجعية في غشاء ZnS

3- 1- الدراسات السابقة المتعلقة بدراسة البنية البلورية لأغشية ZnS وأبعاد حبيباتها:

3-1-1- دراسة البنية البلورية من خلال طيف انعراج الأشعة السينية :

3-1-1-1- تم توضيع أغشية من **ZnS** بطريقة توضيع الطبقة الذرية (**ALD**) على ركائز زجاجية بتيارات تبخير مختلفة من(**50-300mA**)، تقابلها ثخانات تقع في المجال $(1.5-2.5\ \mu m)$، نلاحظ من الشكل (**1-3**) ظهور قمتين واضحتين تقابلان التوجهين البلوريين (**101**),(**002**). تصبح هاتان القمتان أكثر حدة مع زيادة تيار التبخير، وتظهر عند التيار($300\ mA\ cm^{-2}$) قمتان جديدتان تقابلان التوجهين البلوريين (**110**),(**102**)، دلت مقارنة هذه النتائج بـــ (JCPDS card 12-688) أن هذه الأغشية تنتمي إلى الطور السداسي (**wurtzite**) . **[30]**

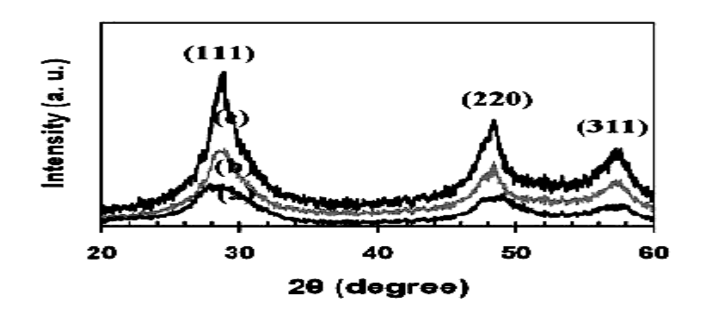


(a) 300 mA cm^{-2}; (b) 250 mA cm^{-2}; (c) 150 mA cm^{-2}; (d) 50 mA cm^{-2}.

الشكل (**1-3**): طيف انعراج الأشعة السينية عن أغشية **ZnS** تم توضيعها باستخدام تيارات توضيع مختلفة

3-1-1-2- تم توضيع أغشية رقيقة من **ZnS** بطريقة الحمام الكيميائي(**CBD**) بدرجات حرارة مختلفة على ركائز زجاجية، من $(25^{\circ},50^{\circ},75^{\circ}C)$ مع تثبيت ثخانة الغشاء عند حوالي (**100nm**)، فكانت تظهر قمم انعراج عند الزوايا $(28.56^{\circ},47.43^{\circ},56.25^{\circ})$ تقابل التوجهات البلورية [(**111**),(**200**),(**311**)] (الشكل (**2-3**))، تدل عن تبلور بشكل بنية مكعبية بسيطة (**zincblende**) .**[31]**

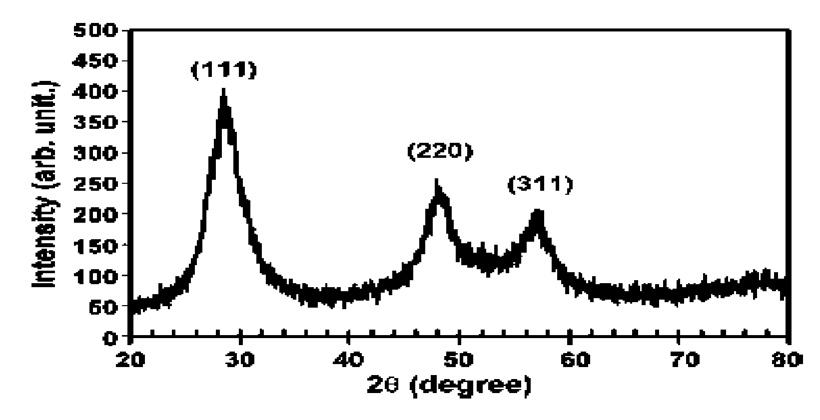
وكمقارنة مع المرجع السابق نلاحظ اختلاف التوجهات البلورية المقابلة لنفس الزوايا نظراً لاختلاف بنية الغشاء.



: (a) 25, (b) 50, and (c) 75 °

الشكل (3-2) : طيف انعراج الأشعة السينية لأغشية **ZnS** وضّعت بدرجات حرارة مختلفة

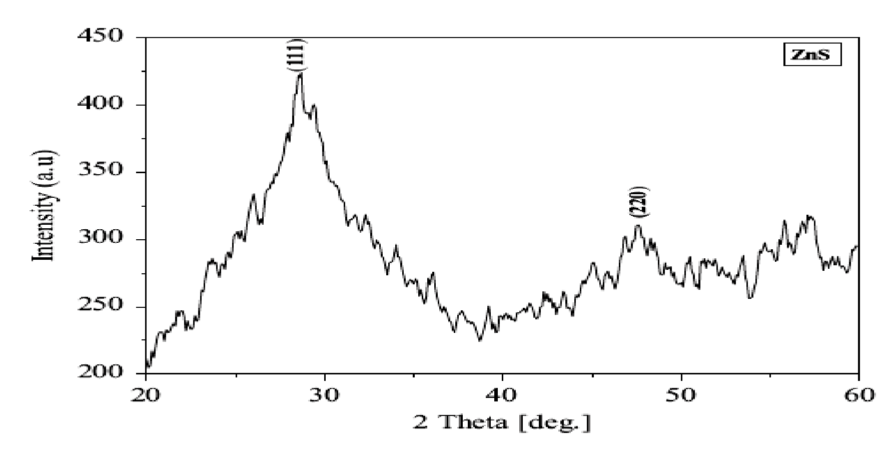
3-1-1-3- بدراسة طيف انعراج الأشعة السينية لغشاء موضع على ركازة زجاجية تم توضيعه بطريقة (**CBD**) بثخانة حوالي (**400-500nm**)، ظهرت قمم انعراج عند الزوايا ($28.56^\circ, 47.43^\circ, 56.25^\circ$) تدل على أن البنية مكعبية بسيطة للمادة بطور ($ZnS - \beta$) تقابل التوجهات البلورية [(**311**),(**220**),(**111**)] .**[32]**



الشكل (3-3) : طيف انعراج الأشعة السينية لغشاء **ZnS** بثخانة (**400-500nm**)

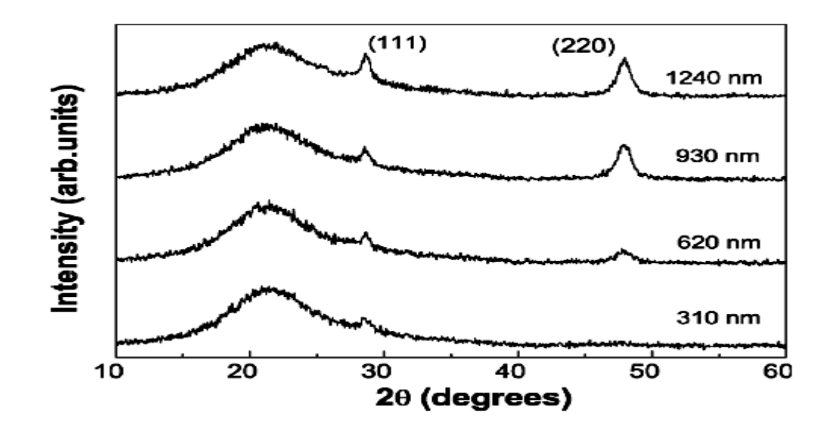
3-1-1-4-تم توضيع مادة **ZnS** على ركائز مختلفة مثل السيليكون و الزجاج و **ITO** و **GaAs** بطريقة (**SILAR**) (**Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction**)، وقد دلت دراسة انعراج الأشعة السينية لغشاء موضع على ركيزة زجاجية على ظهور تبلور ببنية مكعبية بسيطة وفق التوجهات البلورية [(**311**),(**220**),(**111**)] .**[33]**

حيث كانت القمة المقابلة للتوجه (**220**) أضعف من القمة المقابلة لــ (**111**) .



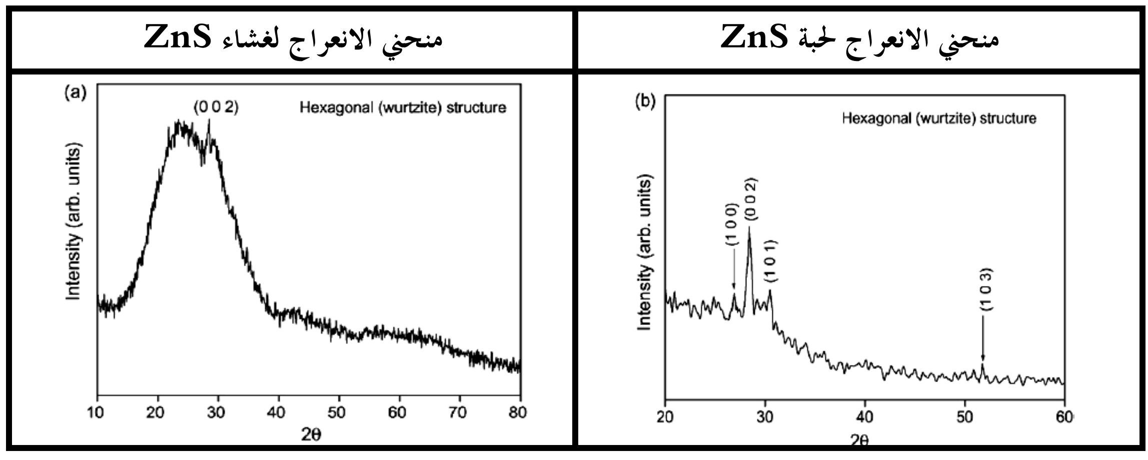
الشكل (4-3) : طيف انعراج الأشعة السينية لغشاء **ZnS** موضع على ركيزة الزجاج.

3-1-1-5- تم توضيع الأغشية على ركائز كوارتز بثخانات مختلفة (310,620,930,1240nm) بتقنية التبخير الحراري . دلت مقارنة قمم انعراج الأشعة السينية ببيانات **JCPDS** على ظهور بنية مكعبية وفق التوجهين البلوريين [(220),(111)] المقابلين لقمتي الزاويتين ($28.7^{\circ},48^{\circ}$) .[34]



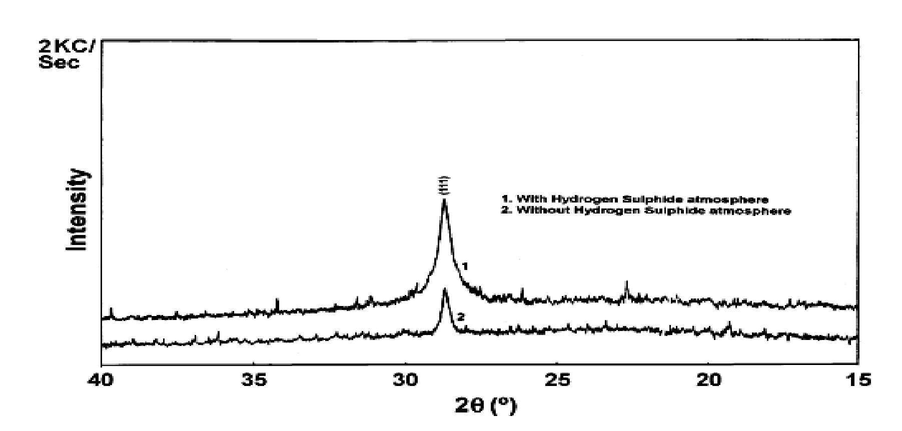
الشكل 5-3) : طيف انعراج الأشعة السينية لأغشية **ZnS** وضعت بثخانات مختلفة

3-1-1-6- تم التوضيع على ركائز زجاجية بطريقة (SGT)، كانت قمم الانعراج تظهر عند الزوايا ($26.9^{\circ},28.4^{\circ},30.5^{\circ},51.7^{\circ}$) وتقابل التوجهات البلورية [(102),(101),(002),(100)] لبنية سداسية، وذلك لمادة **ZnS** صلبة. وفي الغشاء الموضع تظهر فقط قمة عند 28.4^{0} المقابلة للتوجه البلوري (002) لبنية سداسية[35]



الشكل (3-6) : طيف انعراج الأشعة السينية (a) لغشاء **ZnS** ، (b) لحبة **ZnS** قبل التوضيع

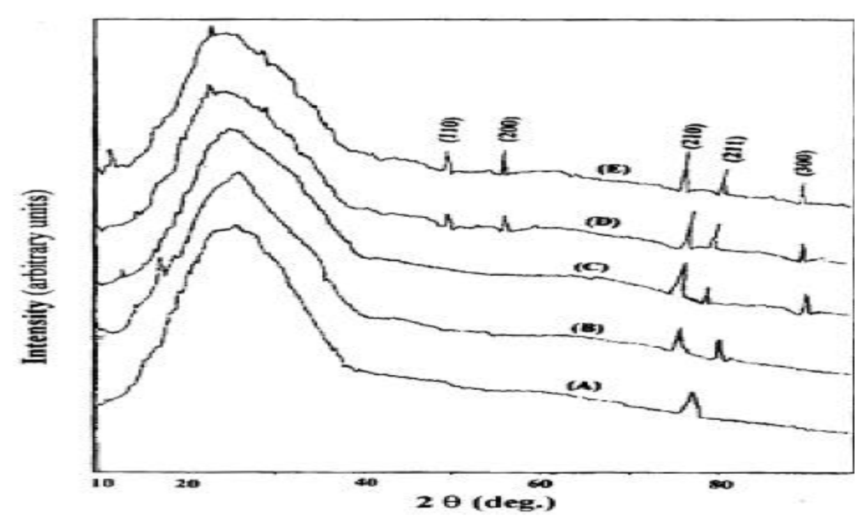
3-1-1-7- الأغشية الموضعة على ركائز الزجاج بطريقة التبخير الحراري بالخلاء (مع غاز H_2S أو بدونه) تظهر لها قمة انعراج واحدة عند (28.8°) [36] .



الشكل (3-7) : طيف انعراج الأشعة السينية لغشاء **ZnS** مع و بدون وجود غاز H_2S أثناء التوضيع

وهذا يدل على بنية مكعبية ، وكما نعلم هنالك قمم انعراج مشتركة بين البنية المكعبية والسداسية وتعتبر القمة عند الزاوية (27°) دليل على كونها بنية سداسية .

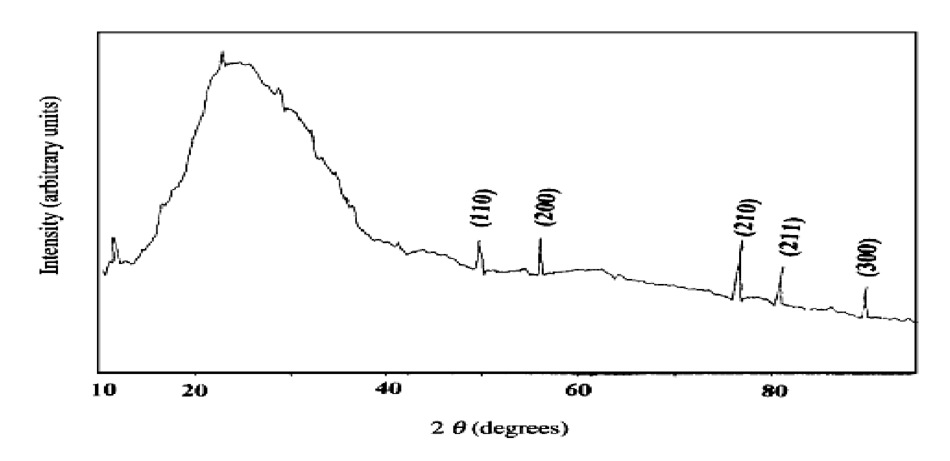
3-1-1-8- تم توضيع أغشية مختلفة الثخانة على ركائز زجاج بطريقة (**CBD**)، فكانت تظهر قمم انعراج بنية سداسية، وكانت القمم أكثر حدة ووضوحاً بقدر ما كانت الثخانات أكبر (**76,141,207,272,332nm**) . **[38]**



الشكل (9-3) : طيف انعراج الأشعة السينية لأغشية **ZnS** بثخانات مختلفة

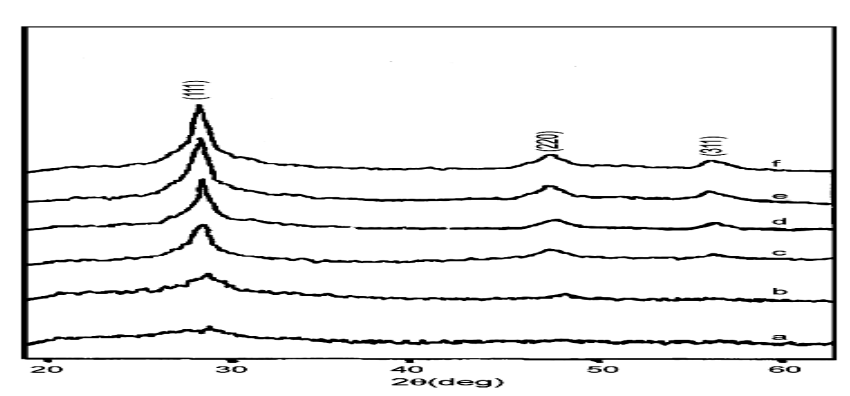
(A) 76 nm; (B)141 nm;(C) 207 nm; (D) 272 nm and (E) 332 nm)

3-1-1-9- تم توضيع أغشية على ركائز زجاج بطريقة (**CBD**)، وكانت أن قمم انعراج الأشعة السينية تدل على بنية سداسية لغشاء ثخانته **332nm** .**[39]**



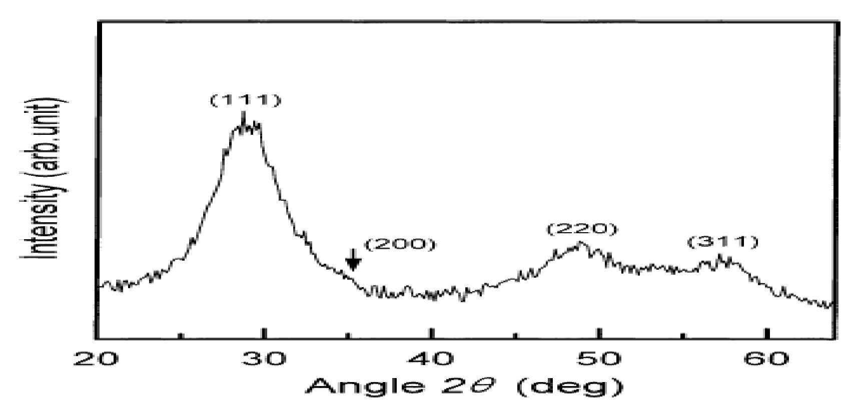
الشكل (10-3) : طيف انعراج الأشعة السينية لغشاء **ZnS** بثخانة **332nm**

3-1-1-10- تم توضيع الأغشية بطريقة كيميائية (**brush plating technique**)، فكانت قمم الانعراج تظهر البنية المكعبية للمادة وفق (**JCPDS card 77-2100**) ويبدأ التبلور يتضح بدءاً من الدرجة **60** فما فوق (حيث تم التوضيع بدرجات حرارة مختلفة ($30-40-50-60-70-80^{\circ}$)) **[40]**.



الشكل (3-11) : طيف انعراج الأشعة السينية لأغشية **ZnS** وضعت بدرجات حرارة مختلفة

3-1-1-11- تم توضيع الأغشية بطريقة (**SGT**) ، وتظهر أربع قمم انعراج للأشعة السينية عند **(28.22°,33.45°,48.18°,57.5°)** والطريقة التي تم توضيع الغشاء بها تجعل من الإمكان أن تظهر بنيتا **ZnS** المكعبية أو السداسية، لكن بالاعتماد على شروط التوضيع، وحقيقة أن القمم عندالزوايا ($26.9^0,30.56^0,39.64^0,51.85^0$) التي تقابل التوجهات البلورية **[(103),(102),(101),(100)]**، تنتمي فقط للبنية السداسية والتي لم تظهر في المنحني مما يدل على أن بنية الغشاء هي مكعبية بسيطة. **[41]**



الشكل (3-12) : طيف انعراج الأشعة السينية لغشاء **ZnS**

3-1-2- <u>حساب أبعاد الحبيبات البلورية :</u>

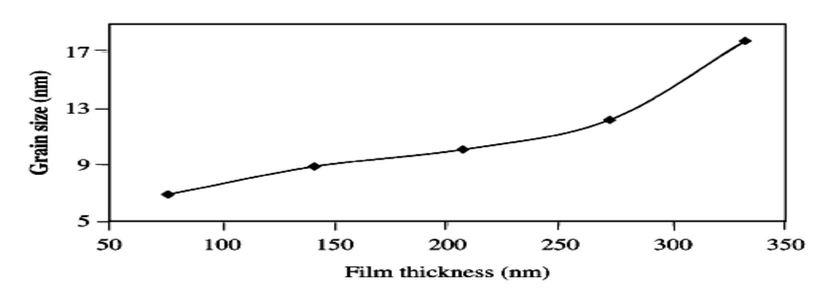
لقد تم حساب أبعاد الحبيبات البلورية في المراجع التالية من العلاقة : $L = \dfrac{0.9\lambda}{\beta Cos\theta}$

3-1-2-1- طريقة توضيع الأغشية (CBD): تم حساب أبعاد الحبيبات البلورية لأغشية وضعت بدرجات حرارة مختلفة من (25^0) إلى (75^0) لنفس ثخانة الغشاء (لا يمكن تحضير أغشية متماثلة الثخانة تماماً فهنالك دوماً ارتياب بثخانة الغشاء يختلف من طريقة توضيع إلى أخرى) وقدكانت أبعاد الحبيبات البلورية (**4.10-9.8-12.5nm**) من أجل ثخانات متقاربة (**89-105-102nm**).**[31]**

3-1-2-2- طريقة توضيع الأغشية هي التبخير الحراري (evaporation): كانت أبعاد الحبيبات البلورية تزداد من **24.2nm** إلى **31.4nm** عندما تزداد ثخانة الغشاء من **310nm** إلى **1240nm** .**[34]**

3-1-2-3- طريقة توضيع الأغشية (SGT): وكانت أبعاد الحبيبات البلورية الوسطي لغشاء **ZnS** حوالي **120nm**.**[35]**

3-1-2-4- طريقة توضيع الأغشية (CBD): وكانت أبعاد الحبيبات البلورية تتغيرمن (**17.8nm**) إلى (**6.9nm**) عند تغير الثخانة من (**332nm**) إلى (**76nm**) ، وبرسم تغيرات أبعاد الحبيبات البلورية بتغير ثخانة الغشاء**[39]** نتج المنحني:



الشكل (**3-13**) : منحني تغير أبعاد الحبيبات البلورية بتغير ثخانة الغشاء.

الذي يدل على تزايد حجم التبلور مع زيادة ثخانة الغشاء.

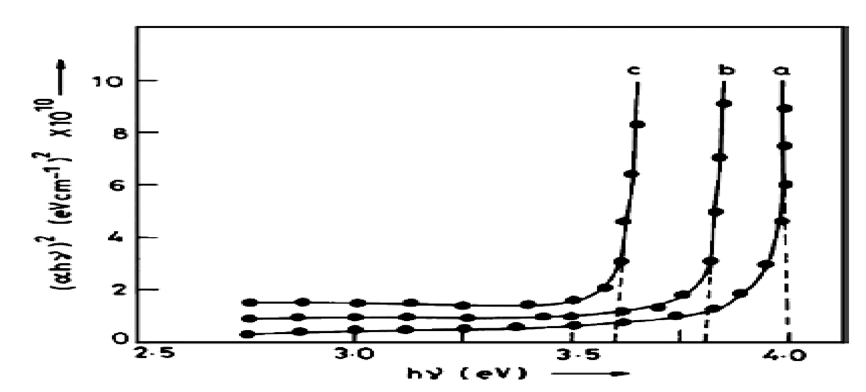
3-1-2-5- طريقة توضيع الأغشية كيميائية: وتم التركيز على دور الحرارة أثناء التوضيع وعلاقتها بأبعاد الحبيبات البلورية مع المحافظة على ثخانة الغشاء، فكانت تزداد أبعاد الحبيبات ضمن المجال من (**15nm**) إلى (**50nm**).**[40]**

3-2- الدراسات الضوئية السابقة :

سنورد أدناه الحسابات الضوئية الموجودة بالمراجع نفسها في الدراسة البنيوية المذكورة سابقاً ونميزها برقم مرجعها.

2-2-1- حساب عرض ثغرة الطاقة :

3-2-1-1- كانت قيم عرض ثغرة الطاقة : (**3.2, 3.6, 4ev**) .حيث كان معامل الامتصاص يحسب من العلاقة $\alpha = 2.303A/t$. و تم التوضيع بتيارات مختلفة مما أدى إلى ظهور ثخانات مختلفة . **[30]**



الشكل (**3-14**) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ للأغشية الموضعة بتيارات توضيع مختلفة

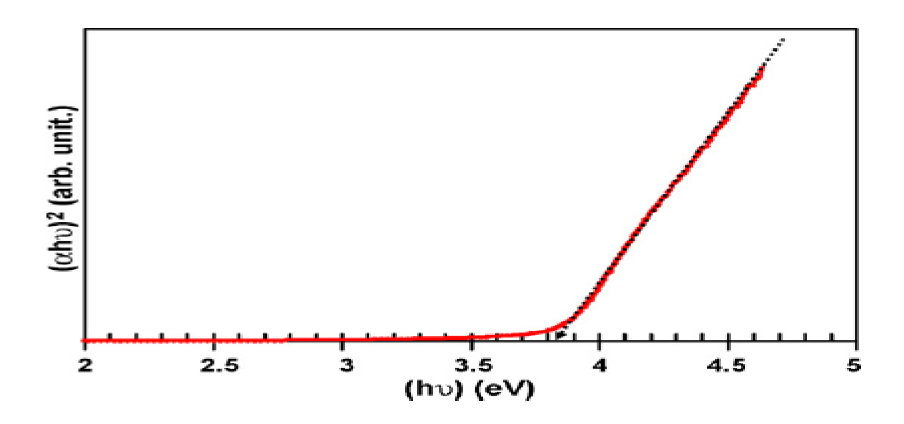
(a) 50 mA cm^{-2}; (b) 150 mA cm^{-2}; (c) 300 mA cm^{-2}.

3-2-1-2- العلاقة التي يحسب منها معامل الامتصاص : $A = \log\left(\frac{I_0}{I_t}\right) = \alpha d$

مع العلم أن عرض ثغرة الطاقة للمادة الصلبة : (**3.7ev**) أي أن عرض ثغرة الطاقة للجسم الصلب أقل من عرض ثغرة طاقة الغشاء .

وفي هذا المرجع تم توضيع الأغشية بثخانات مختلفة (**35,80,130,170,210,220nm**) و الذي قابل تغير عرض ثغرة طاقة (**3.9,3.87,3.83,3.76,3.75,3.75nm**) . **[32]**

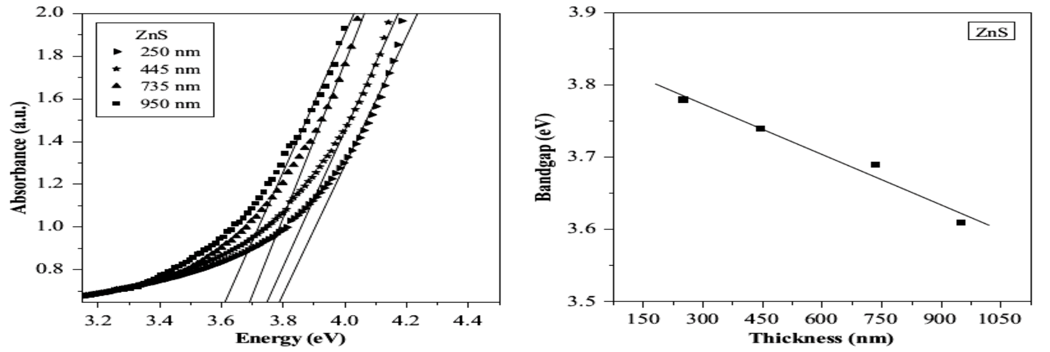
و برسم تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ لإحدى الثخانات ظهر المنحني التالي :



الشكل (3-15) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ لغشاء بثخانة (130nm) وضع على ركيزة كوارتز .

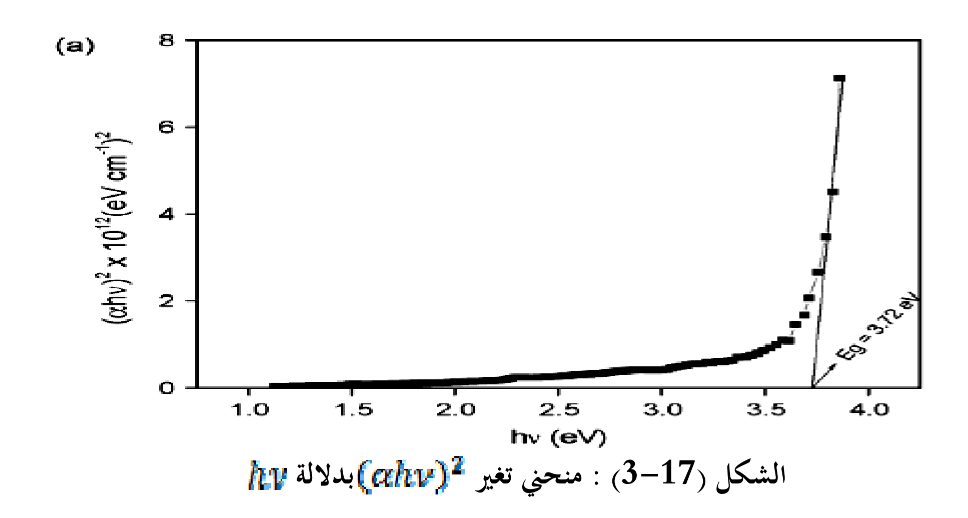
3-2-1-3-استخدم العلاقة $\alpha = \frac{A}{h\nu}(h\nu - E_g)^n$ ، وفيه كان عرض ثغرة الطاقة يتناقص بزيادة درجة حرارة التحميص (**annealing**) حوالي (**0.11ev**). **[33]**

برسم تغيرات الامتصاص بدلالة تغير hυ يظهر المنحني التالي، ويظهر أيضاً التناقص الخطي لعرض ثغرة الطاقة بزيادة ثخانة الغشاء :



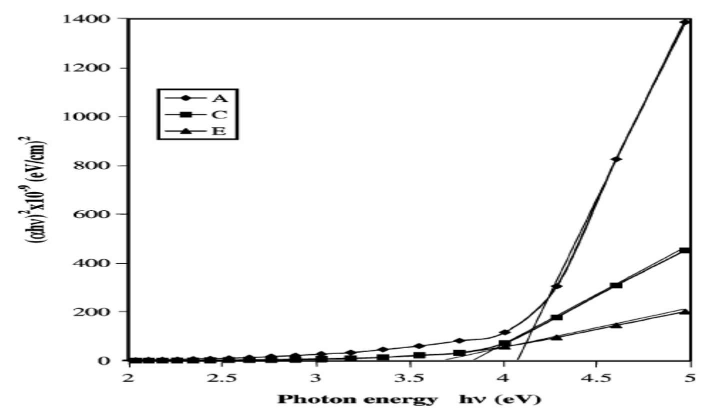
الشكل (3-16) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ لأغشية وضعت بحرارة تحميص مختلفة ، و منحني تناقص عرض ثغرة الطاقة بزيادة ثخانة الغشاء .

3-2-1-4-العلاقة المستخدمة لحساب عرض ثغرة الطاقة $(\alpha h\nu)^{1/n} = A(h\nu - E_g)$ ، وحسبت ثغرة الطاقة فكانت (**Eg=3.12ev**) . **[35]**



الشكل (3–17) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$

3–2–1–5–العلاقة المستخدمة $\alpha = \frac{A(h\nu - E_g)^n}{h\nu}$ ، وتظهر تغيرات عرض ثغرة الطاقة بتغير الثخانة في الشكل : **[39]**

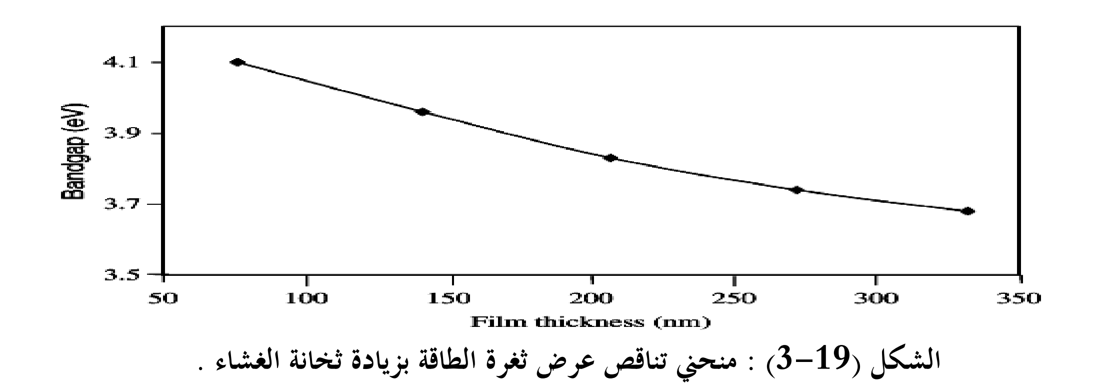


الشكل (3–18) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ لأغشية بثخانات مختلفة

(A) 76 nm, (C) 207 nm and (E) 332 nm.

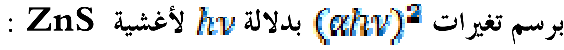
حيث يتناقص عرض ثغرة الطاقة من (**4.1eV**) إلى (**3.68eV**) مع زيادة ثخانة الغشاء من (**76nm**) إلى (**332nm**) مع العلم قيمة ثغرة الطاقة للجسم الصلب من **ZnS** هي **3.7ev** .

و يظهر الشكل(**3–19**) التالي تناقص ثغرة الطاقة بزيادة ثخانة الغشاء :

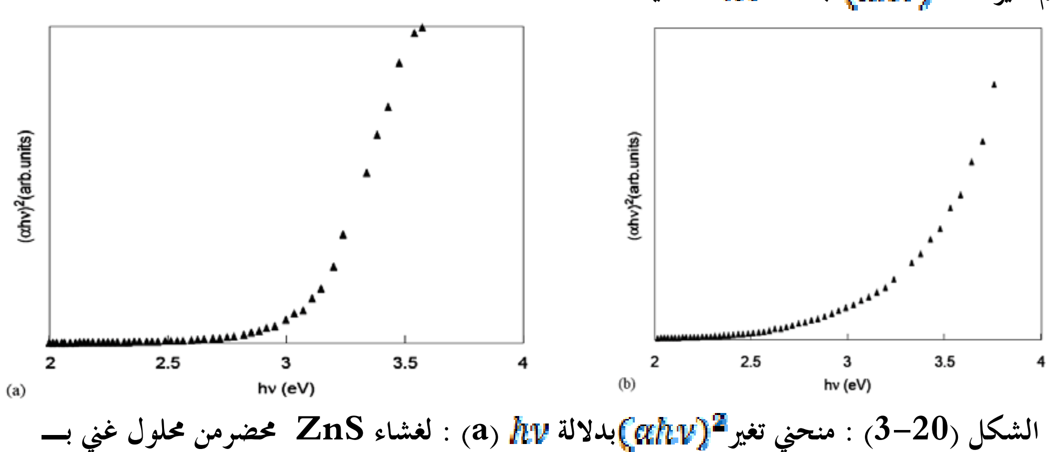


الشكل (3–19) : منحني تناقص عرض ثغرة الطاقة بزيادة ثخانة الغشاء .

3–2–1–6– كان السبب في انخفاض عرض ثغرة طاقة الغشاء (**3.2ev**) وجود الأكسجين في تركيبه الناتج عن عملية التوضيع الكيميائي باستخدام المحاليل الحاوية عليه، والذي يملك عرض ثغرة طاقة منخفضة تساوي القيمة الناتجة . **[42]**

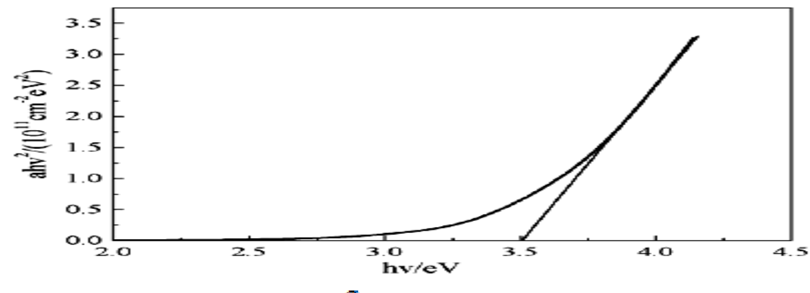


برسم تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ لأغشية **ZnS** :



الشكل (3–20) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ (a) : لغشاء **ZnS** محضرمن محلول غني بــ $ZnSO_4$ (b) : لغشاء **ZnS** محضر من محلول غني بــ $Na_2S_2O_3$

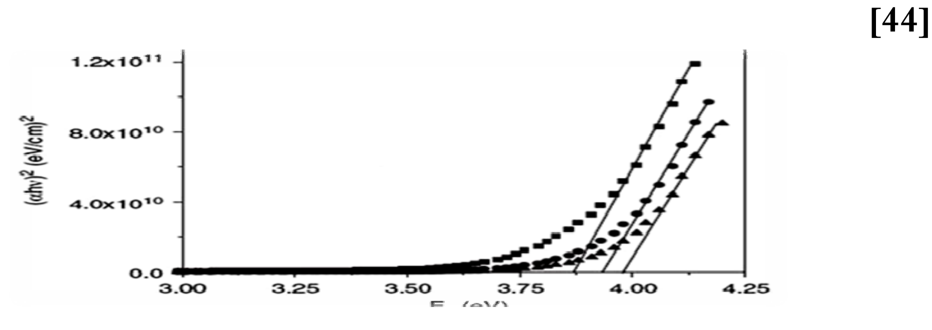
3–2–1–7– استخدمت العلاقة : $\alpha h\nu = k(h\nu - E_g)^{n/2}$ حيث اعتبر أن **n=1** من أجل الثغرة المباشرة، و **k**: ثابت وكانت قيمة عرض ثغرة الطاقة (**3.5ev**) . **[43]** كما في الشكل :



الشكل (3–21) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$

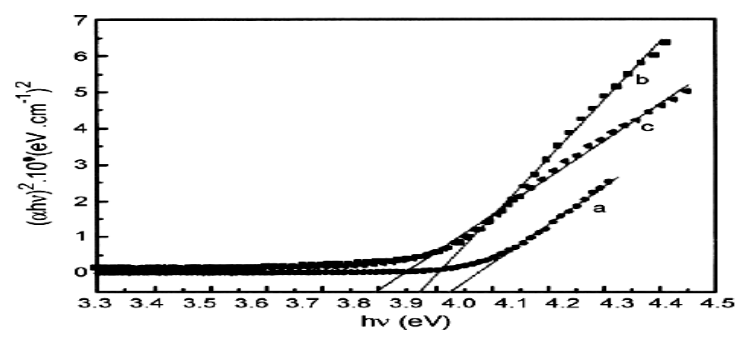
3–2–1–8– تم حساب معامل الامتصاص من العلاقة: $\alpha = \frac{1}{t}\ln\left[\frac{1-R}{T}\right].$

ورسم تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$، فكانت قيم عرض ثغرة الطاقة هي (**3.87 , 3.93 , 3.98eV**) **[44]**



الشكل (3–22) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ لعدة أغشية

3–2–1–9– عند حساب عرض ثغرة الطاقة كانت في المجال (**3.79–3.93ev**) و التي كانت أعلى من قيمتها في الجسم الصلب من نفس المادة، وذلك من أجل درجات حرارة توضيع مختلفة. **[40]** واستخدم العلاقة $\alpha h\nu = k(hn - E_g)^{n/2}$ للحصول على المنحني التالي :

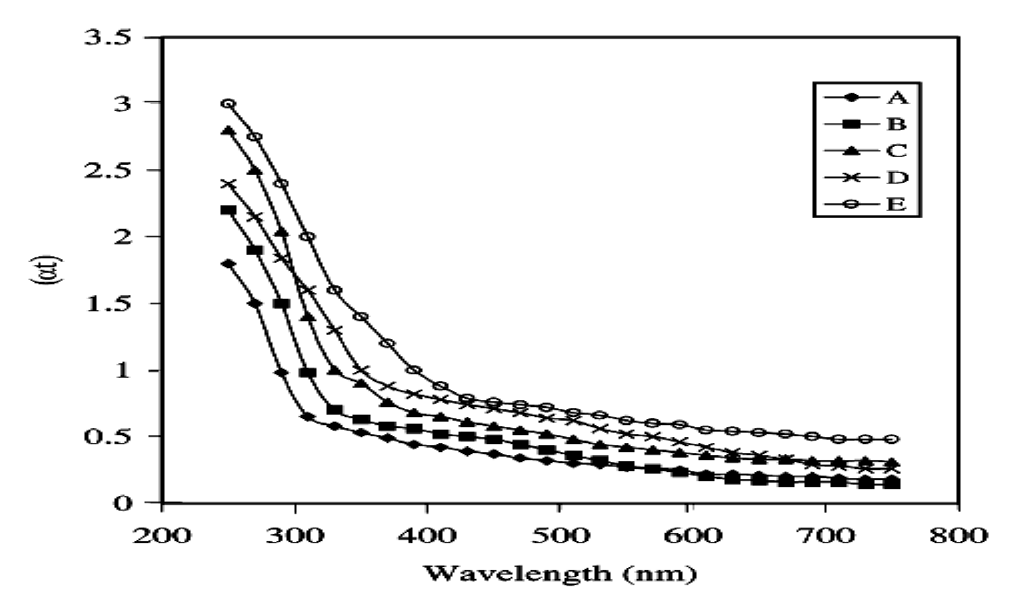


الشكل (3–23) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ لعدة أغشية في درجات حرارة توضيع مختلفة

10 min (a) 30 °C, (b) 60 °C and (c) 80 °C.

3-2-2- الامتصاص :

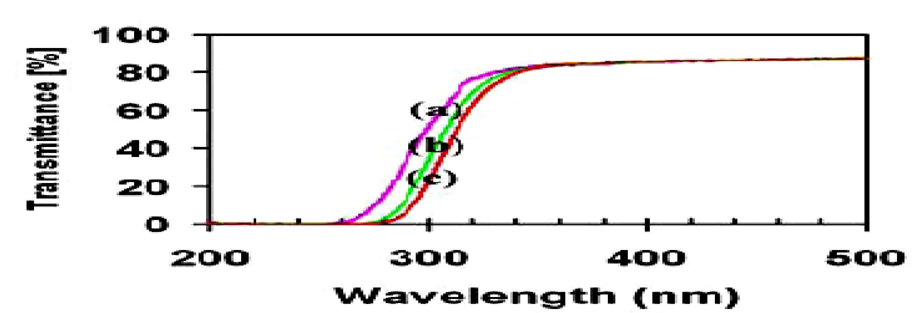
3-2-2-1- تم رسم تغير الامتصاص للأغشية المختلفة الثخانة بتغير طول الموجة [39]، فكان المنحني التالي:



الشكل (3-24) : منحني الامتصاص بدلالة طاقة الفوتون لثخانات مختلفة من أغشية ZnS
(A)76nm,(B)141nm, (c)207nm, (D)272nm ,(E) 332nm.

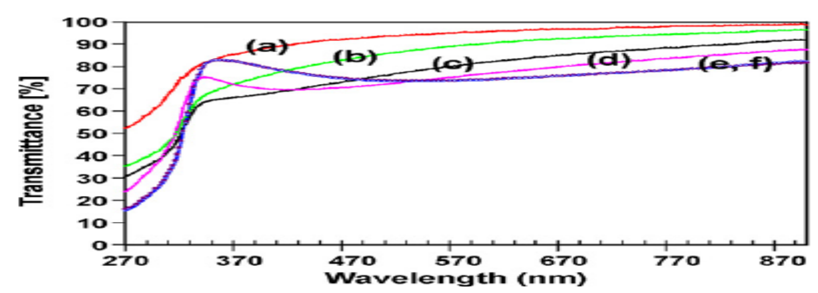
3-2-3- النفوذية :

3-2-3-1- كانت قيمة النفوذية بحدود 80% في حالة ثلاثة أغشية موضعة في درجات حرارة مختلفة وثخانة ثابتة (100nm) . [31]



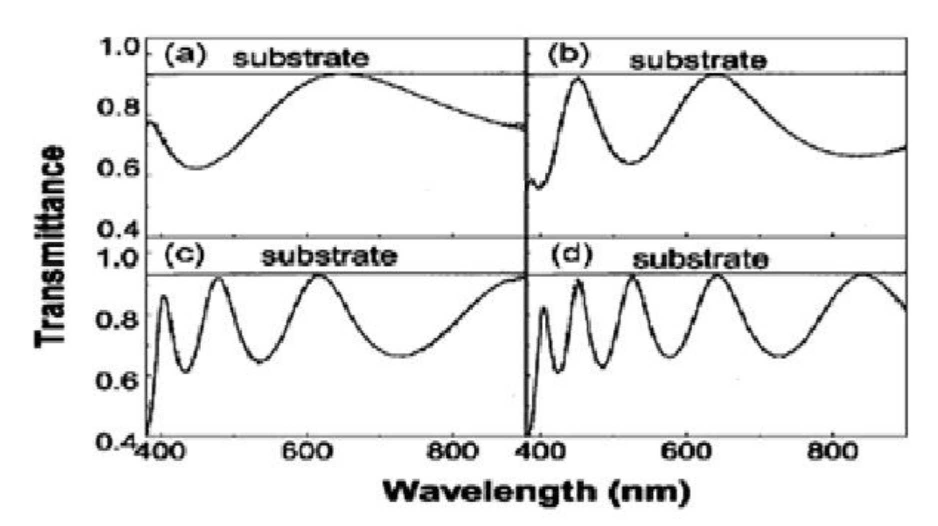
الشكل (3-25) : منحني النفوذية الضوئية لغشاء ZnS (100nm) موضع في درجات حرارة مختلفة
(a) 25, (b) 50 , (c)75℃

3-2-3-2- كانت نفوذية الأغشية ذات الثخانات المختلفة أكثر من (70%) .[32]



الشكل (3-26) : منحني النفوذية لأغشية ZnS من أجل الثخانات المختلفة , (a)35nm, (b)80nm
(c)130nm,(d)170nm , (e)210nm , (f)220nm

3-2-3-3- حسبت النفوذية عند أرباع طول الموجة [43] من منحنيات نفوذية الأغشية الأربعة التالية :



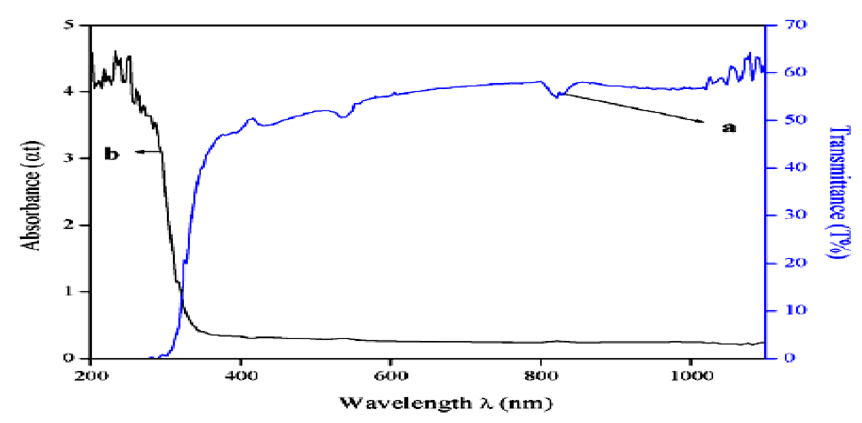
الشكل (3-27): طيف النفوذية لأغشية ZnS بثخانات مختلفة , (a)310nm , (b)620nm, (c)930nm
(d)1240nm

ووضعت قيم النفوذية في الجدول (3-1)

Optical thickness (nm)	Transmittance
0	0.933
155	0.654
310	0.892
465	0.630
620	0.853
775	0.602
930	0.802
1085	0.581
1240	0.786

الجدول (3-1) : تغير النفوذية بتغير الثخانة الضوئية

3-2-3-4-في المرجع الذي استخدم طريقة (SGT) للتوضيع على ركائز زجاجية، يظهر منحني النفوذية مع منحني الامتصاص للغشاء الناتج [35] :



الشكل (3-28) : منحني النفوذية (a) و منحني الامتصاصية (b) لغشاء ZnS

و يظهر الانخفاض المفاجئ في النفوذية الذي يقابله امتصاصية عالية عند ثغرة الطاقة .

3-2-3-5-يظهر تغير النفوذية بتغير الغاز أثناء التوضيع (مع و بدون غاز H_2S).[36]

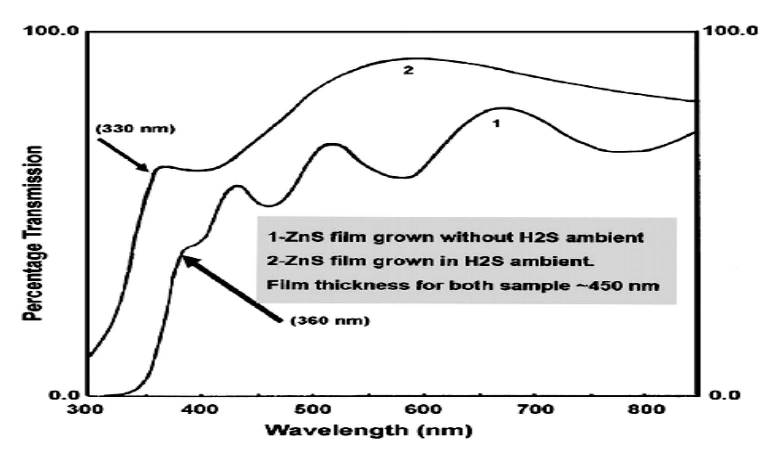
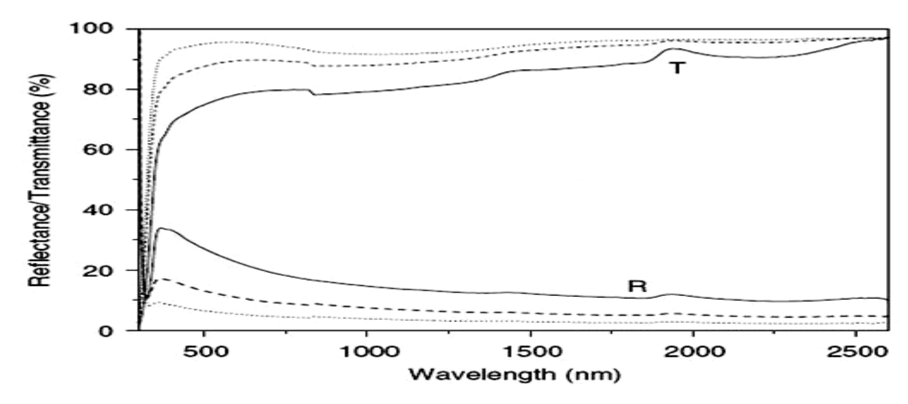


Fig. 4. Transmission spectra of vacuum evaporated ZnS thin films for both with and without H_2S atmosphere.

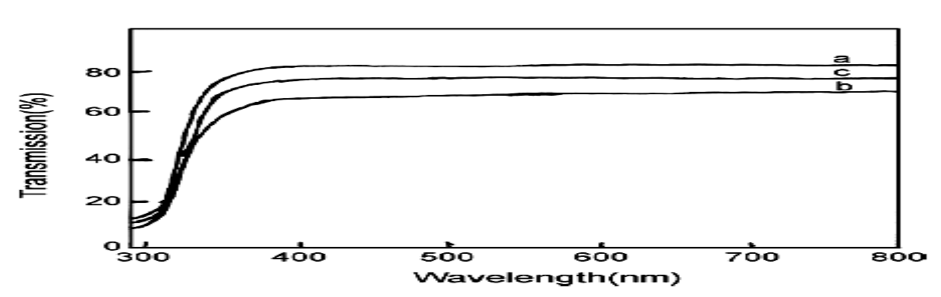
الشكل (3-29) : منحني النفوذية بتغير ثخانة الغشاء .

3-2-3-6-يرسم تغير نفوذية وانعكاسية الأغشية الموضعة على ركائز زجاج ،[44]على اعتبار أن الامتصاص مهمل :



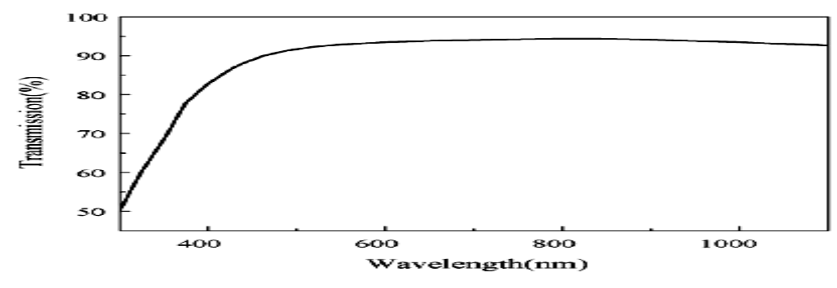
الشكل (**3-30**) : منحنيات نفوذية وانعكاسية أغشية مختلفة بدلالة طول الموجة .

3-2-3-7-تغير النفوذية بتغير درجة حرارة التوضيع مع إبقاء زمن التوضيع ثابتاً (10min) [40]:



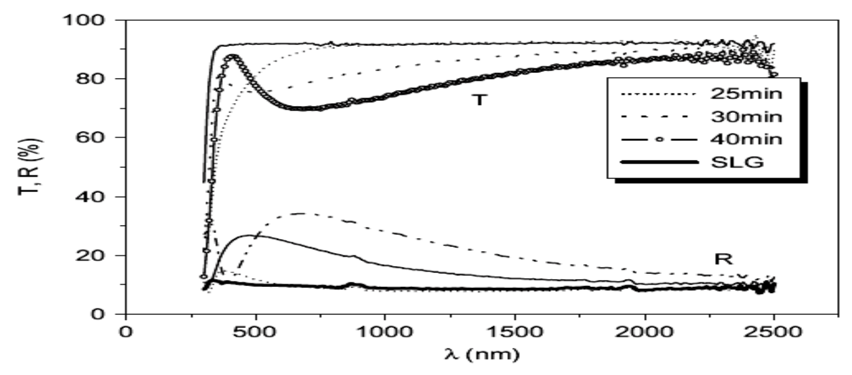
الشكل (**3-31**) : منحني نفوذية أغشية **ZnS** وضعت بدرجات حرارة مختلفة (**30 – 60 – 80°C**)

3-2-3-8- كانت نفوذية الأغشية حوالي (90%).[43]



الشكل (**3-32**) : منحني نفوذية غشاء**ZnS** بتغير طول الموجة .

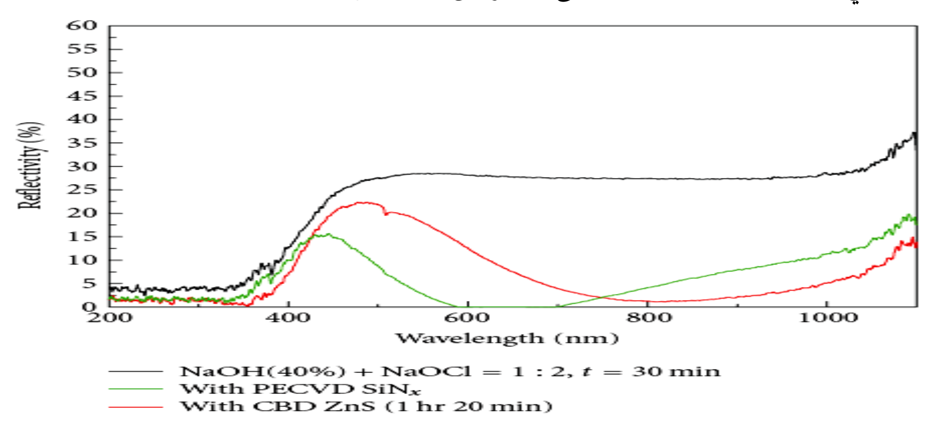
3-2-3-9- منحنيات النفوذية في هذا المرجع و منحنيات الانعكاسية بدلالة زمن التوضيع الكيميائي بإهمال الامتصاص [45]



الشكل (3-33) : منحنيات تغير النفوذية والامتصاصية بدلالة طول الموجة في حالة أغشية وضعت بأزمنة توضيع مختلفة.

3-2-4- الانعكاسية :

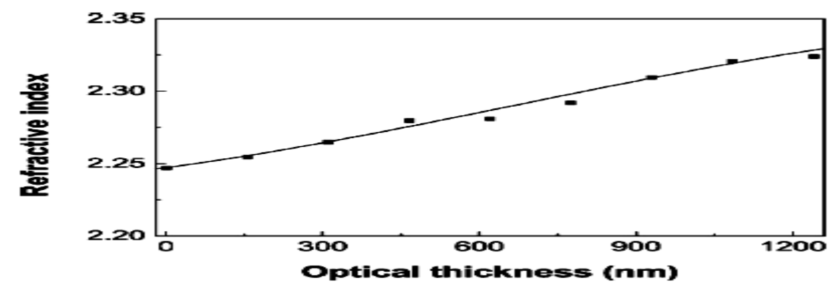
في المراجع السابقة تم رسم منحنيات الانعكاسية و منحنيات النفوذية و كلها كانت على ركائز زجاج في المرجع [46] منحني انعكاسية غشاء ZnS على ركائز من السيليكون :



الشكل (3-34) : المنحني الأحمر يمثل انعكاسية غشاء ZnS الموضع على ركيزة سيليكون .

3-2-5-قرينة الانكسار ومعامل الانطفاء :

3-2-5-1- قرينة الانكسار تزداد بزيادة ثخانة الغشاء .[34]



الشكل (3-35): منحني تغير قرينة انكسار غشاء ZnS(620nm) بدلالة الثخانة الضوئية

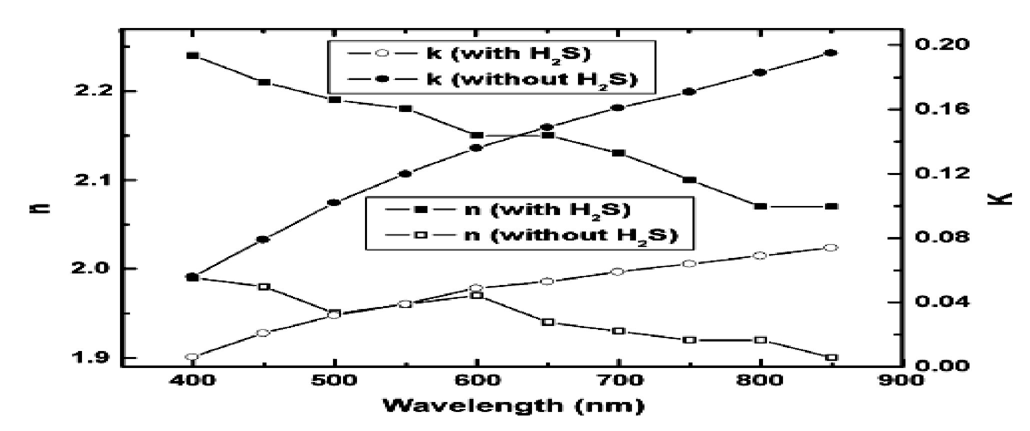
وفي الجدول (3-2) التالي تغير معامل الانطفاء بتغير الثخانة:

Average refractive indices ($\bar{n}$) and extinction coefficients ($\bar{k}$) of the films with different optical thicknesses calculated by in situ transmittance measurements and wideband spectra photometric measurements

Optical thickness (nm)		310	620	930	1240
In situ transmittance measurements	$\bar{n}$	2.252 ± 0.007	2.263 ± 0.012	2.278 ± 0.018	2.287 ± 0.025
	$\bar{k}(10^{-4})$	7.8 ± 0.6	8.7 ± 0.9	9.4 ± 1.2	10.1 ± 1.4
Wideband spectra photometric measurements	$\bar{n}$	2.243 ± 0.008	2.261 ± 0.015	2.280 ± 0.021	2.289 ± 0.024
	$\bar{k}(10^{-4})$	6.3 ± 0.5	8.3 ± 0.9	9.0 ± 1.1	9.2 ± 1.3

The reference wavelength is 620 nm.

3-2-5-2-رسم منحنيات تغير قرينة الانكسار و معامل الانطفاء بدلالة طول الموجة [36] .



الشكل (3-36): منحني تغير قرينة الانكسار **n** ومعامل الانطفاء **k** بتغير طول الموجة لغشاء **ZnS**

3-2-6- زيادة مردود الخلية الشمسية بتوضيع غشاء من مادة كبريتيد الزنك :

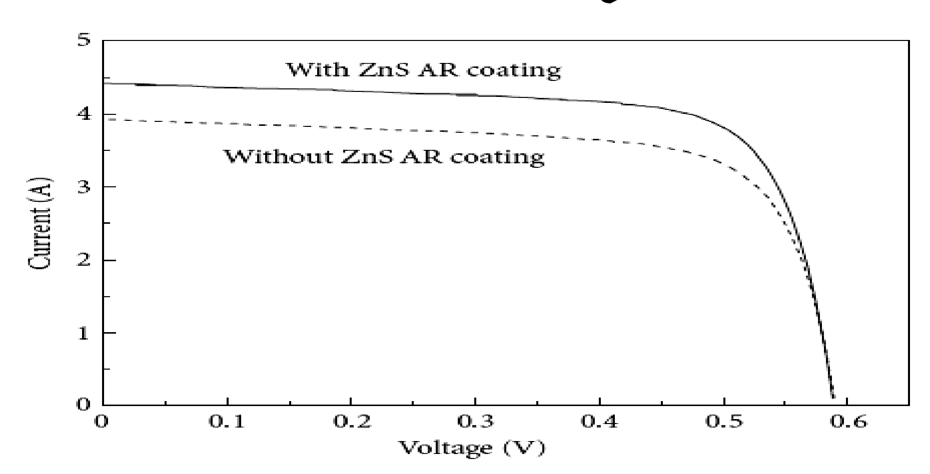
3-2-6-1- في الجدول التالي(3-3) : قيم كل من تيار القصر، وكمون الدارة المفتوحة والاستطاعة العظمى ومعامل الامتلاء ومردود الخلية مع غشاء **ZnS** وبدونه .**[46]**

الجدول (3-3):

Sample description	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	V_m (V)	I_m (A)	P_m (W)	FF	Eff. (%)
Without AR coating	590.3	3.93	489.34	3.39	1.66	0.72	10.65
With ZnS AR coating	588.8	4.42	491.03	3.89	1.91	0.73	12.24

حيث تم إجراء القياسات على خلية شمسية من السيليكون (**125mmx125mm**)، V_{OC} كمون الدارة المفتوحة، I_{SC} تيار القصر ، V_m : الكمون الأعظمي ، I_m : التيار الأعظمي ، P_m : الاستطاعة العظمى ، **FF**: معامل الامتلاء ، **Eff**: مردود الخلية.

وفي ما يلي المنحنيات المميزة للخلية الشمسية مع غشاء **ZnS** وبدون :



الشكل (37–3) : المنحنيات المميزة للخلية الشمسية (تغير التيار بتغير الكمون) مع غشاء وبدونه

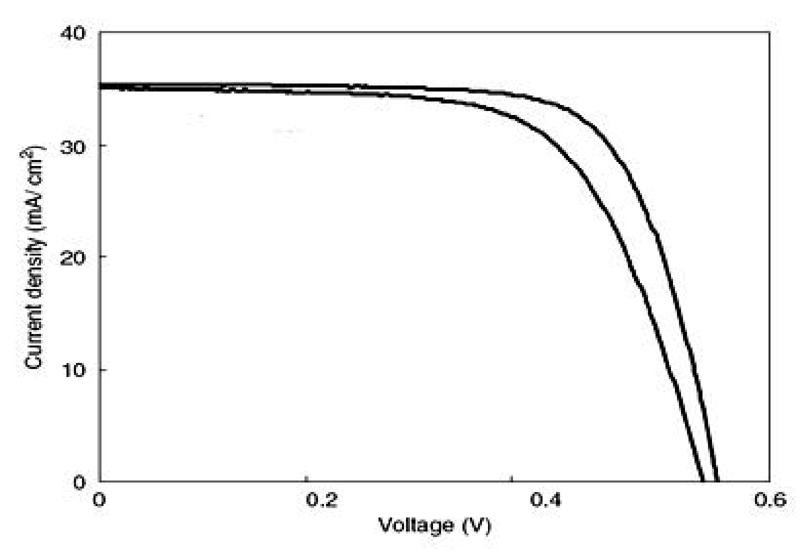
3–2–6–2–المساحة الفعالة لكل الخلايا التي تمت عليها الدراسة هي $0.43\ cm^2$. **[47]**

في الجدول (4–3) : تم حساب معامل امتلاء الخلايا ومردوده من أجل ثخانات مختلفة لأغشية ZnS.

Cell no.	Area (cm^2)	V_{oc} (mV)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF (%)	Efficiency (%)
28	0.43	519	38.30	53.0	10.8
30	0.43	535	36.82	56.0	11.0
33	0.43	552	37.07	57.2	11.7
34	0.43	549	36.56	52.8	10.6
35	0.43	532	37.33	54.0	10.7
36	0.43	540	38.00	57.1	11.7
37A[a]	0.43	552	39.20	62.0	13.3
37B[a]	0.43	542	38.58	58.0	12.2
40B	0.43	403	38.48	39.8	6.18
51	0.43	397	22.68	32.7	2.56

3–2–6–3–في الجدول (5–3) : تم حساب معامل امتلاء والخلايا ومردودها مع وجود غشاء ZnS وبدونه [48]، إضافة إلى منحني تغير التيار بتغير الكمون مع غشاء كبريتيد الزنك وبدونه .

CBD Process	V_{OC} (V)	J_{SC} (mA/cm^2)	FF	η (%)
With US	0.600	35.4	0.712	15.1
Without US	0.586	35.0	0.647	13.4



الشكل (3-38) : تغير تيار الدارة بتغير الكمون لخلية شمسية مع غشاء ZnS وبدونه.

في هذا الفصل نكون قد أجرينا دراسة مرجعية لأغشية ZnS ليكون الفصل التالي هو تقديم لكيفية التوضيع والإجراءات التجريبية متبوعاً بالتحليل والقياسات الضرورية.

الفصـــل الرابـــع

توضيع الأغشية الرقيقة وتوصيفها

4-1- الأجهزة المستخدمة :

4-1-1- الجهاز المستخدم في عملية توضيع الأغشية الرقيقة :

جهاز التغشية ذي الخلاء العالي : وهو عبارة عن جهاز يستخدم لتشكيل الأغشية الرقيقة في خلاء عالٍ حوالي $(7.5 \times 10^{-6} mbar)$ ، ويحوي ثلاث تقنيات لتحضير الأغشية هي :

1) التبخير الحراري باستخدام بوتقة مقاومة للتيار الكهربائي .
2) التبخير الحراري باستخدام حزمة الإلكترونات .
3) التوضيع بواسطة الترذيذ.

و سيتم في الفقرات التالية شرح آلية تنفيذ كل من هذه الطرق .

4-1-2- الأجهزة المستخدمة لدراسة خواص الأغشية الرقيقة :

1) جهاز الأشعة السينية في المعهد العالي لبحوث الليزر:

أهم مواصفات الجهاز :

يتكون من الهدف في أنبوب الأشعة وهو قرص من النحاس يسخن بملف من التنغستين. يقدر الطول الموجي للأشعة السينية الصادرة بنحو: 1.54 انغستروم، وهذا المنبع للأشعة ثابت. بينما يكون حامل العينة قابل للدوران بزاوية Ωأوميغا، وحامل الكاشف يدور بزاوية two theata 2Θ لتمسح المجال من صفر الى 150 درجة . والجهاز يعمل في الحالة العادية ضمن نظام Theata – two theata أي أن كاشف الأشعة يدور بزاوية تساوي ضعفي زاوية دوران العينة .
ومسح العينة يتم بشكل مستمر أو بشكل خطوي (step by step) أصغر خطوة للمسح تقريباً 0.001 من الدرجة .
كما يمكن التحكم بسرعة المسح .

بشكل عام يضبط فرق الكمون بين الملف وقرص النحاس الهدف عند 40 كيلو فولط و شدة التيار المار في الوشيعة عند 30mA ، ويمكن أن نستخدم قيم أخرى و لكنها المفضلة عند الاستخدام الطبيعي .

يوجد أمام الكاشف شبكة انعراج لضمان عدم وجود تداخلات من أشعة أخرى. يوجد حامل للكاشف من أجل العينات البودرة والصلبة. و حامل آخر للأغشية الرقيقة مزود بعدد من الصفائح الممغنطة التي تضمن وصول الأشعة المنعرجة عن العينة متوازية الى الكاشف ويستخدم مسحوق أكسيد الزنك **ZnO** كمادة معيارية للحصول على طيف انعراج هذه المادة يملك زوايا ذات أماكن معروفة بدقة للجهاز.



الشكل(**1–5**) : جهاز الأشعة السينية

2) جهاز التحليل الطيفي (**photospectrometer**) في قسم الفيزياء :

(Varian-5000-UV-Vis-NIRSpectrophotometer EL05053821)

مجال عمله الطيفي (**175-3300 nm**)

يقُوم هذا الجهاز بدراسة الامتصاصيةٌ والانعكاسيةٌ والنفوذيةٌ للعينّات الصلبة أوالسائلة أو حتى الغازيةٌ إضافة إلى الضوء المتشتت (عن طريقٌ الكرة التكامليةٌ)، و ذلك ضمن مجال طيفٌ واسع تُمتد من (**175**) نانومتر إلى (**3300**) نانومتر، أي أنه يُمتد من المجال فوق البنفسجي إلى المجال تحت الأحمرالقريبٌ. إضافة إلى ذلك فإنه يُمكن أن يُحدد تركيزٌ المادة الفعالة المدروسة.

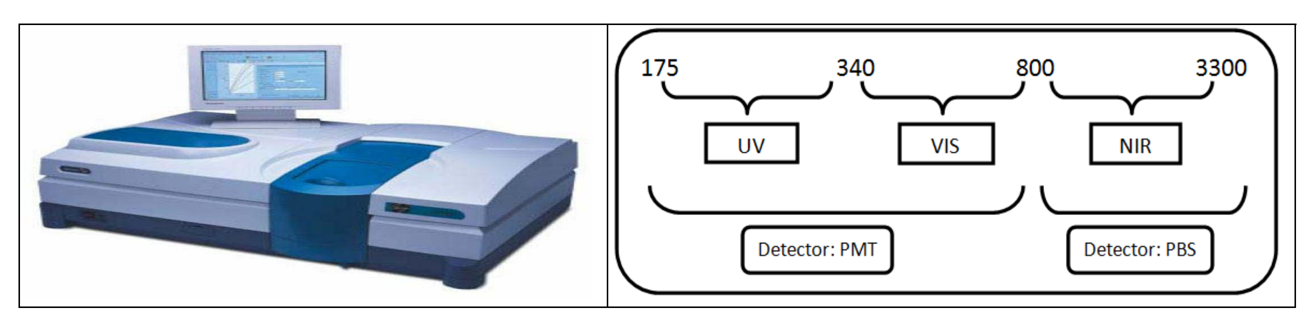
يُمتلك هذا الجهاز نوعينٌ من المنابع:

الأول خاص بمنطقة الضوء المرئي وتحت الأحمر القريبٌ ويسٌمى: مصباح الهالوجينٌ، أما المنبع الثاني فهو خاص بمنطقة الطيفٌ فوق البنفسجي و يسٌمى :الديتّيريوٌم.

إضافة إلى ذلك فإن الجهاز يحُوي على نوعينٌ من الكواشف الأول للأمواج تحت الحمراء القريبّة والذي يسٌمى**PBS**، والثاني للأمواج فوق البنفسجيةٌ والأمواج الموجودة في مجال الطيفٌ المرئي والذي يسٌمى **PMT** (مضاعف فوتو كهربائي)

حيثٌ أنه عند دراسة طيفٌ مادة معينّة على كامل المجال الطيفّي للجهاز يقُوم الجهاز بتغييرٌ نوعيةٌ الكاشف وذلك عند طول الموجة (**800**) نانومتر تقريبّاً، ونستطيعٌ عند هذه الموجة ملاحظة عمليةٌ تغيرٌ الكاشف عند طول الموجة ذلك من خلال الصوت الذي يطُلقه الجهاز والوقوف المؤقت لعمليةٌ دراسة الطيفٌ.

يوّجد نوعانٌ من شبكات الانعراج، الأولى في المجال فوق البنفسجي وتحتوي (**600**) شق في الميلّمتر، والثانيةٌ في المجال تحت الأحمر والمرئي وتحتوي (**1200**)) شق في الميلّمتر.



الشكل (**2-5**) يوضح جهاز التحليل الطيفي.

خطوات العمل على الجهاز: نقوم في بداية العمل بمعايرة الجهاز دون وضع أية عينات في كل من حجرة العينة المرجعية (**Reference cuvette**)، و حجرة العينة المراد فحصها طيفياً (**Sample cuvette**)، وذلك لامتصاص أثر تغير إضاءة المصباح ، فتكون الاستطاعة الواصلة إلى المستقبلين الضوئيين (**Detector 1,2**) تساوي $\frac{I}{I_0}$ وهي ما تسمى (**back ground**) ، نقوم بوضع العينة المراد فحصها في المكان المخصص لها فيلتقط المستقبلين الضوئيين أيضاً النسبة $\frac{I}{I_0}$، نعبر عن تغير أثر إضاءة المصباح بالمقدار α ، وبالتالي عند تغير إضاءة المصباح فإن الاستطاعة الواصلة إلى المستقبل الأول هي αI، والاستطاعة الواصلة إلى المستقبل الثاني هي αI_0 ، فتبقى النسبة $\frac{I}{I_0}$ محققة ، فيتم إزالة أثر تغير إضاءة المصباح .

3) **جهاز تحضير عينات المادة الهدف للتبخير** : من المعهد العالي لبحوث الليزر

وهو مكبس لتحويل المادة البودرة إلى أقراص صلبة وآلية العمل هي كما يلي :

نقوم أولاً بطحن المادة البودرة إلى أنعم شكل ممكن للحصول على أقراص متماسكة ثم نقوم بوزن المادة حسب الحاجة، و توضع بعدها داخل القالب و يتم الضغط بشكل يدوي إلى (**80KN**) و يترك مدة (**10min**) ثم يزال الضغط عن الأقراص و إخراجها.

2-4- المواد المستخدمة في التجارب :

1- مادة كبريتيد الزنك **ZnS** : نقاوتها (**99.99%**) وهي على شكل أقراص بقطر **10mm** وثخانة **7mm** ، ذات لون أبيض .

2- ركائز زجاجية : حيث الزجاج مادة غير متبلورة، تملك قرينة انكسار ($n=1.5$) أخفض من قرينة انكسار ZnS

3- ركائز سيليكون من نمط n: مشابة بـــ (Sb) ، التوجه البلوري <111>

4- ركائز سيليكون من نمط p: مشابة بـــ (In) ، التوجه البلوري <100>

حيث أن قرينة انكسار ركائز السيليكون ($n=3.2$) تكون أكبر من قرينة انكسار ZnS .

5- بوتقات من الموليبديوم أو التنغستن على شكل متوازي مستطيلات: وتتمتع كل منها بدرجة انصهار عالية جداً مما تمكننا من استخدامها في صهر أو تبخير المادة دون أن تنصهر، فدرجة انصهار الموليبديوم ($2623\ C^0$) ودرجة انصهار التنغستن ($3422\ C^0$) .

6- المواد المستخدمة في عملية التنظيف:

1- حمض الحامض، الايتانول، الميتانول، الماء المقطر .

2- قفازات مطاطية لمنع تلوث العينة من البصمات والشوائب التي لا ترى بالعين .

3- أقمشة من نوع خاص لا تترك أثر على المكان المراد تنظيفه.

4- رقائق من الألمنيوم نستخدمها لتغطية التقنيات غير المستخدمة في الجهاز.

4-3- مراحل العمل التجريبي :

توضيع الأغشية يتضمن :

➢ **تحضيرات ما قبل التوضيع :**

أهمية التنظيف :

للحصول على غشاء جيد نقي و متجانس يجب التأكد من نظافة المكان الذي يتم فيه التوضيع و من نظافة سطح الركيزة ونقاوة المادة المراد توضيعها. (في كامل العمل من تنظيف وترتيب العينات و لمس الجهاز يجب أن نراعي ارتداء القفازات).

والتنظيف يقسم إلى قسمين :

1-تنظيف الحجرة :

تنظيف الحجرة يفيدنا بأنه يمنع تلوث العينات بالمواد السابق توضيعها والتي تتبخر من جديد أثناء عملية التبخير و تتوضع على الركائز، كما أن تلك البقايا الموضعة تشكل طبقة مسامية تمتلئ بالغازات و تؤخر الحصول على الخلاء المطلوب .

نقوم بتنظيف حجرة التوضيع (بما تتضمنه من قاعدة تحوي تقنيات التوضيع بالكامل وجدران الحجرة وسقفها والنوافذ وبلورة الكوارتز وهي موصولة بحساس السماكة والسخان الحراري الضوئي والقاعدة الحاملة للعينات) بحمض الحماض أولاً ثم بالايتانول (أو الميتانول) و الماء المقطر في النهاية.

ملاحظة : نستخدم الحمض الحماض لإزالة المواد المعدنية الموضعة والتي تصعب إزالتها بالايتانول.

2-تنظيف الركيزة:

يتم باستخدام قطعة قماش مبللة بالكحول مع المسح باتجاه واحد، يلي ذلك غسلها بحمامات متعاقبة من الميتانول والماء المقطر ثم نغسلها بالماء المقطر حتى نحصل على بقعة ماء متواصلة للدلالة على الحصول على النظافة الكاملة ، وتترك لتجف مع التأكيد عل عدم النفخ عليها حتى لا تتلوث ببخار الماء.

ملاحظة: وجدنا أثناء عمليات التوضيع أن استخدام الإيتانول يترك أثراً على العينات لذلك استبدلنا به الميتانول.

➢ تشغيل نظام التفريغ (التخلية) :

صممت حجرة التخلية لتوضع على قاعدة دائرية تتحرك بحرية ومجهزة لعمليات التوضيع.

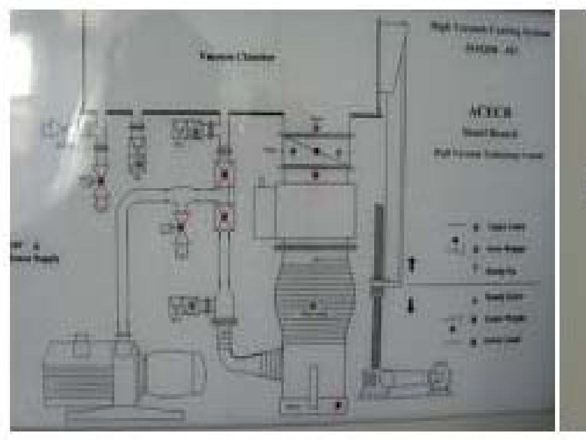
تكون ثلاث مصابيح حمراء في يمين الوسط للوحة التحكم (**SSD**) مضاءة .

1- نفتح صمام ضغط الهواء (فيرتفع مقياس الضغط داخل الخزانة إلى **bar2.5**).

2- نرفع مفاتيح الــتحكم **CONTROL** و الــمضخة الانتشارية **DIFF. PUMP** الموجودة على الباب الخلفي (وعندها تفتح وحدة **SSD** و مقياس الضغط المنخفض البيراني (**pirani**) .

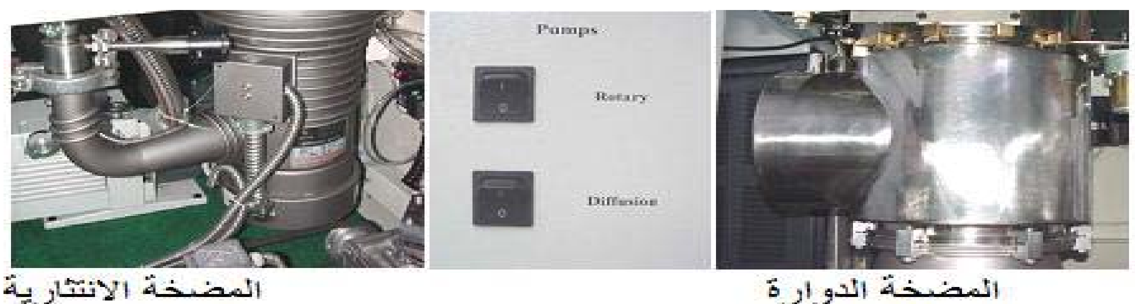


المفاتيح خلف الجهاز لتشغيل المضخة



وحدة **SSD** التي ترينا سير العملية

3- نشغل المضخة الــدوارة **rotary** .



المضخة الانتشارية   المضخة الدوارة

نحول مفتاح التفريغ إلى وضع الــ **backing** (الــ **SSD** ترينا وضع المفاتيح، حيث ينخفض ضغط الــ **backing** ببطء) .



4- نفتح حنفية الماء للـــمضخة الانتشارية فيتدفق الماء في الأنابيب ليبرد هذه المضخة .

5- نشغل مضخة الانتشارية (ترينا الــ **SSD** وضع المضخة) ، حيث ترتفع درجة حرارة الجزء السفلي من المضخة بعد 5 دقائق).

ملاحظة : يجب أن يكون ضغط الــ **backing** أخفض من **1mbar** عندما تكون المضخة الانتشارية ساخنة.فيجب أن نبقي المفتاح على الــ**backing** طالما الضغط أعلى من ذلك .

6- نضع مفتاح صمام الخلاء على وضع الــ**roughing** (لوحة الــ**SSD** ترينا وضع المفتاح، وينخفض ضغط الحجرة ببطء شديد .

7- عندما يصبح ضغط الحجرة دون 10^{-1} نعيد مفتاح صمام الضغط على الــ **backing** (لوحة الــ**SSD** ترينا وضع المفتاح)

8- نضغط على مفتاح الــ **OPEN** لنفتح الصمام الرئيسي (وترينا اللوحة وضع الصمام عند الفتح وينخفض ضغط الحجرة بسرعة، ونفتح مقياس الــضغط المنخفض الحساس **Penning** ، ويبدأ انخفاض الضغط ببطء عندما يصبح الضغط تحت 10^{-5}mbar .

<u>ملاحظة</u> : يفتح مفتاح الــ**Penning** آلياً عندما ينخفض الضغط ما دون الــ10^{-1}mbar و العمل بضغط أعلى من ذلك يؤدي إلى إيذاء مقياس الــ **Penning**.

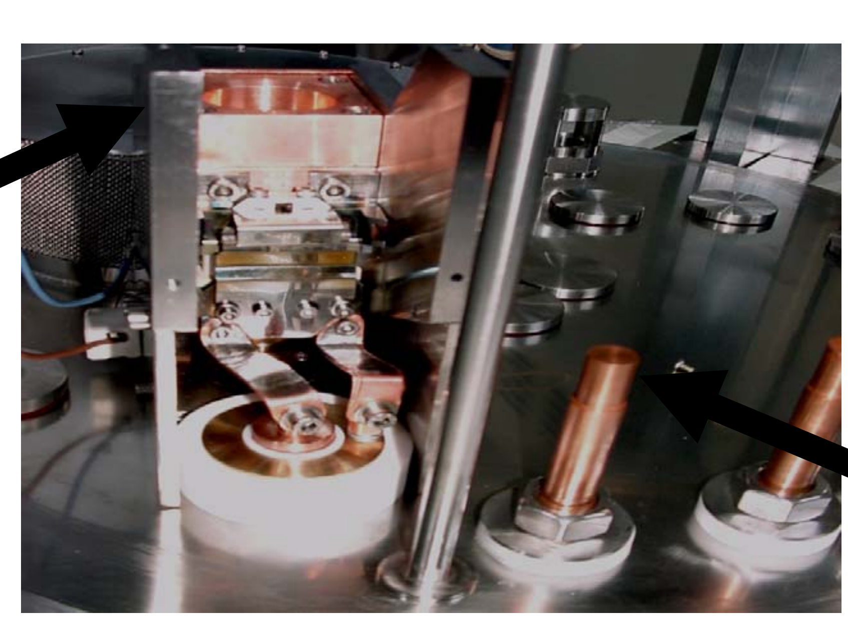


مزود الطاقة لتسخين البوتقة مقاييس الضغط

9- إذا خططنا لوضع النتروجين السائل في مصائد LN2 (تستخدم مبدأ التكاثف السريع للغازات الموجودة في حجرة التخلية نتيجة البرودة الشديدة لغاز النتروجين وبالتالي تسريع عملية تخلية الغازات من الحجرة) يمكن أن نخفض الضغط إلى 10^{-6} (ويمكن أن يخفض الضغط أكثر من ذلك). وعند الوصول إلى الضغط المطلوب، نبدأ بإجراءات التوضيع التي سنذكرها بالتفصيل في الفقرة التالية .

1) إجراء عمليات التوضيع : 1. التبخير بنوعيه :Evaporation ، E-beam

2. التوضيع بالترذيذ SPUTTERING



صورة داخل حجرة التوضيع

1- إجراء عملية التبخير Evaporation :

عندما يعمل نظام التخلية بشكل جيد:

1- نفتح الباب الخلفي و نرفع المفتاح S12 من أجل الــ EVAPORATION .

2- نضغط زر الــ Vent و نرفع الحجرة .

3- نضع البوتقة بين القطبين الكهربائيين داخل الحجرة.

4- نضع مادة كافية من المادة المراد تبخيرها.

5- نضع العينات على حامل العينات(أو تحته) فوق البوتقة.

6- ننزل الحجرة إلى الأسفل حتى تتوقف آلياً .

7- ثم نتبع الخطوات من 1 إلى 10 حتى ينخفض الضغط إلى الحد المطلوب .

8- درجة الحرارة المطلوبة نتحكم بها عبر heater controller.

9- نشغل الــ heater بطاقته القصوى .



السخان مع حامل العينات الدوار



مقياس الحرارة مع مزود الطاقة للسخان

10- يمكن تدوير حامل العينات عند الحاجة .

11- عندما تصل درجة حرارة الركيزة إلى فوق الحد المطلوب نعيد قبضة التحكم إلى وضع الطاقة الصغرى .

12- نشغل مقياس الثخانة و نبدأ القياسات (الثخانة ومعدل التوضيع صفر الآن).

13- عندما تصبح الركيزة بدرجة الحرارة المناسبة نشغل مفتاح الطاقة (تفتح زر مزود الطاقة فقط عندما يكون زر تغيير الطاقة عند الصفر)

14- نبعد الحاجز من فوق البوتقة.

15- نرفع الطاقة ببطء لتسخين المادة في البوتقة إلى ما فوق درجة حرارة الذوبان .

16- ندير دفة الحاجز إلى جنب و نزيد الطاقة للتبخير بالمعدل المطلوب (مقياس الثخانة يري معدل التوضيع و زيادة الثخانة) .

17- عندما نصل إلى الثخانة المطلوبة ندير دفة الحاجز فوق البوتقة لإيقاف التوضيع على الركائز.

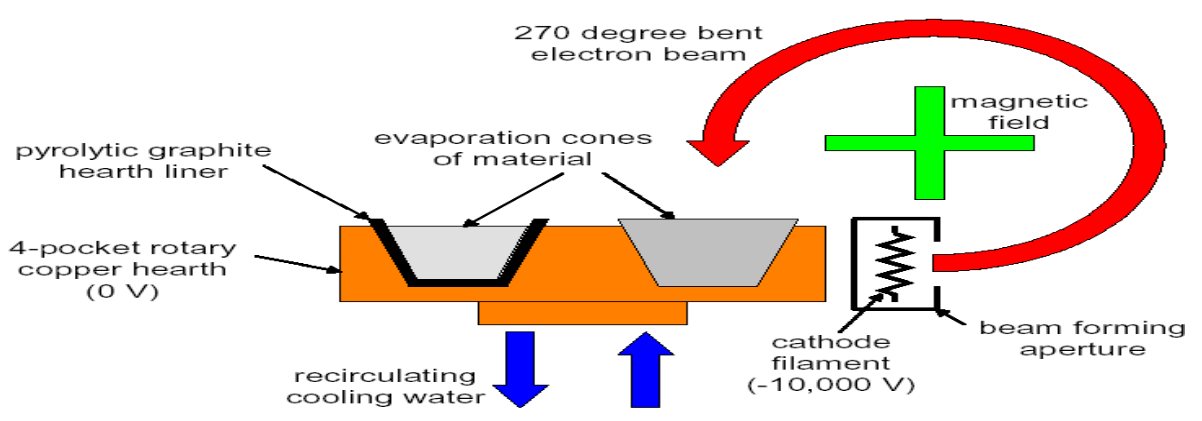
18- نحول الطاقة الكهربائية ببطء حتى نصل إلى الصفر و نطفئ مزود الطاقة.

19- نوقف حامل الركائز عن الدوران ، و نوقف السخان و مقياس الثخانة.

20- نبقي البوتقة لتبرد خلال دقائق.

21- ننفس الحجرة باستخدام الـــ **Vent** .

2- إجراء عملية التوضيع بواسطة حزمة الالكترونات **E-beam** :



EBS يتألف من :

1- وحدة تزويد الطاقة :

يوجد على الباب الخلفي المفتاح الرئيسي الذي يزود الوحدة بالطاقة، وبجانبه ثلاثة أزرار مهمتها تزويد الوحدة بالجهد العالي.

2- مصدر التسخين: يتألف من بوتقة لصهر المادة محاطة بمبرد للبوتقة بواسطة الماء و قاذف لحزمة الإلكترونات ووشيعة حقل مغناطيسي عالي مجمعة كلها في بوتقة واحدة.

إن قاذف الحزمة الالكترونية هو الأكثر تعقيداً في هذه الوحدة، حيث تصدر الإلكترونات حرارياً من فتيل يطبق عليه كمون سالب عالي فتبتعد عنه الإلكترونات خاضعة لحقل كهربائي عالي، والتيار داخل الوشيعة يسبب حقل مغناطيسي بين الصحنين

الحديديينِ في جانبي البوتقة . يقوم الحقلُ المغناطيسيُ بحني الحزمة الإلكترونية نحو الأسفل إلى البوتقةِ ، و يُسبّبُ أيضاً محرقة (تركيز) حزمة الالكترونات .

خطوات تنفيذ التوضيع باستخدام الــEBS :

1- نشغل نظام التخلية بحسب الخطوات السابقة.

2- نفتح كل المفاتيح خلف وحدة تزويد الطاقة.

3- نشغل المفتاح الكهربائي للتزويد بالحقل المغناطيسي.

4- نضغط مفتاح الجهد العالي ونقرأ على المؤشر قيمة التوترالمطبق.

5- نديرالمقبض الكهربائي ونراقب فتيل التسخين داخل الحجرة حتى يتوهج ويبدأ بإصدار حزمة الإلكترونات التي تسقط بدورها على المادة الموجودة في البوتقة، و في حال لم تتبخر المادة نقوم برفع قيمة الفولطية.

ملاحظة: مقياس الثخانة عبارة عن بلورة كوارتز توضع بالقرب من الركائز ويوضع عليها غشاء يساوي بالثخانة الأغشية الموضعة على الركائز، وتوصل هذه البلورة بحاسب ويستخدم برنامج ملحق بجهاز التغشية لمعرفة الثخانة.

لإيقاف الجهاز عندما ننتهي من التوضيع نقوم بما يلي :

1- نضغط على الصمام الرئيسي إلى وضع الــ CLOSE (ترينا الــSSD وضع المفتاح) .

2- نضغط مفتاح الــ VENT حتى تمتلئ الحجرة بالهواء (يرتفع ضغط الحجرة ويختفي صوت تدفق الهواء بعد وقت قصير).

3- نضغط زر الــ UP لرفع الحجرة للأعلى بالقدر المطلوب.

4- بعد إخراج العينات من الحجرة وانتهاء عملنا منها نضغط على زر DOWNحتى تتوضع الحجرة بحرية على القاعدة .

5- نضع مفتاح الخلاء على الوضع roughing لإبقاء الحجرة في خلاء والنظام مغلق.

6- نعيد مفتاح الخلاء على الوضع backing.

إجراءات الإغلاق :

1- إغلاق مضخة الــ diffusion .

2- بعد 20 دقيقة نغلق مفتاح صمام الخلاء لإغلاق النظام بالكامل.

3- نغلق المضخة الميكانيكية.

4- نضع كل المفاتيح بوضع الإغلاق من الخلف.

5- نغلق مفتاح التخلية الجوي . بعد 20 دقيقة أخرى نغلق أنابيب ماء التبريد لمضخة الــ diffus

4-4- الشروط التجريبية التي طبقناها للحصول على الأغشية الرقيقة من مادة ZnS لبعض التجارب:

شروط التوضيع / رقم التجربة	التجربة الأولى	التجربة الثانية	التجربة الثالثة	التجربة الرابعة
وزن الحبات قبل التوضيع	**3.57g**	**5.16g**	**3.57g**	**1.75g**
وزن الحبات بعد التوضيع	**1.13g**	**1.53g**	**0.68g**	**0g**
ضغط الحجرة	$(7.5\times10^{-6}\,mbar)$	$(7.5\times10^{-6}\,mbar)$	$(4\times10^{-5}\,mbar)$	$(8\times10^{-5}\,mbar)$
درجة حرارة الركيزة	$(150)^{o}C$	$(100)^{o}C$	$(200)^{o}C$	$(76)^{o}C$
زمن التوضيع	**26min**	**27min**	**27min**	**25min**
تيار التسخين	**180A**	**170A**	**180A**	**165A**
نوع البوتقة	**Mo**	**Mo**	**Mo**	**Mo**
الركائز المستخدمة	**glass**	**Si type N, Si type P , glass**	**Si type N, Si type P , glass**	**Si type N, Si type P , glass**
بعد الركائز العمودي عن لبوتقة	**18cm**	**18cm**	**18cm**	**18cm**
البعد الأفقي للركائز عن شاقول البوتقة (نوع الركيزة: بعدها)	Glass: 0، 9.5، 18، 11، 18.5	glass: 13.5، 16، 19.5، 23.5 Si type N: 7.5، 10، 14.5، 20 Si type P: 3.5، 7.5، 14.5، 18	glass: 13، 16، 20، 23.5 Si type N: 7، 10، 14.5، 20 Si type P: 3.5، 8.5، 12، 18	glass: 14.5، 17.5، 19.5، 24.5 Si type N: 6، 9.5، 16، 19 Si type P: 4.5، 8.5، 13.5، 19

لا يحوي الجدول السابق على الشروط التجريبية لكل التجارب المطبقة بل على عينة منها، حيث لم تذكر الشروط التجريبية للتجارب التي أعطت أغشية تالفة ربما لعطل في الجهاز، أو التجارب التي تماثلت مع إحدى الشروط السابقة.

تم أخذ أفضل الأغشية الناتجة من عمليات التوضيع التي جرت، وتمت دراسة طيف الامتصاص لها، وطيف النفوذ والانعكاس، إضافة إلى دراسة طيف انعراج الأشعة السينية لتلك الأغشية، والاستفادة من معطيات الأطياف في دراسة خواص أغشية ZmS، وسيتم في الفصل الخامس شرح تلك الدراسات بالتفصيل.

الفصـــل الخامـــس

تحليل النتائج التجريبية

5-1- الغشاء ZnS على ركائز زجاجية:

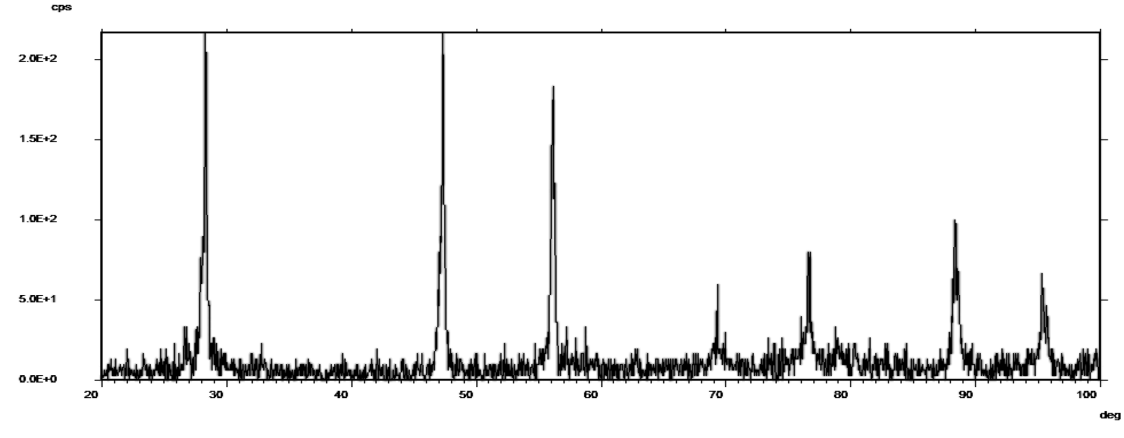
5-1-1- الدراسة البنيوية:

5-1-1-1- أولاً : دراسة البنية البلورية :

قمنا باستخدام جهاز انعراج الأشعة السينية (X-Ray) لدراسة البنية البلورية لمادة **ZnS** الصلب وركائز السيليكون ثم الأغشية الرقيقة من مادة **ZnS** ذات الثخانات المختلفة الموضعة على ركائز من زجاج وسيليكون من نمطين **N** و **P** ، مع العلم أن المادة الهدف المصدرة للأشعة السينية (**Cu**) بطاقة مقدارها (**40J**) وتيار (**30A**) ، وتم المسح للزاوية 2θ على مجال ($100^0 - 20^0$) بخطوة مسح (**0.05**) حيث استغرق زمن المسح (**20min**) .

قمنا أولاً بمعايرة الجهاز باستخدام مادة طيف انعراجها معروف بالنسبة للجهاز وهي مادة **ZnO** ومقارنة طيفها بالطيف المرجعي والتأكد من كونهما متطابقين (أي التأكد من أماكن وجود قمم الانعراج وعدم انزياحها) حتى يكون القياس دقيقاً ونتمكن من مقارنة النتائج مع بيانات الجهاز.

بالبداية قمنا بدراسة طيف انعراج الأشعة السينية لمادة **ZnS** الجرمية فحصلنا على المنحني التالي:



الشكل (**5-1**): طيف انعراج الأشعة السينية لمادة **ZnS** الجرمية

ويظهر طيف انعراج الأشعة السينية لمادة **ZnS** الجرمية متعددة البلورة، حيث تظهر قمم الانعراج عند زوايا سجلت في الجدول(**5-1**) التالي :

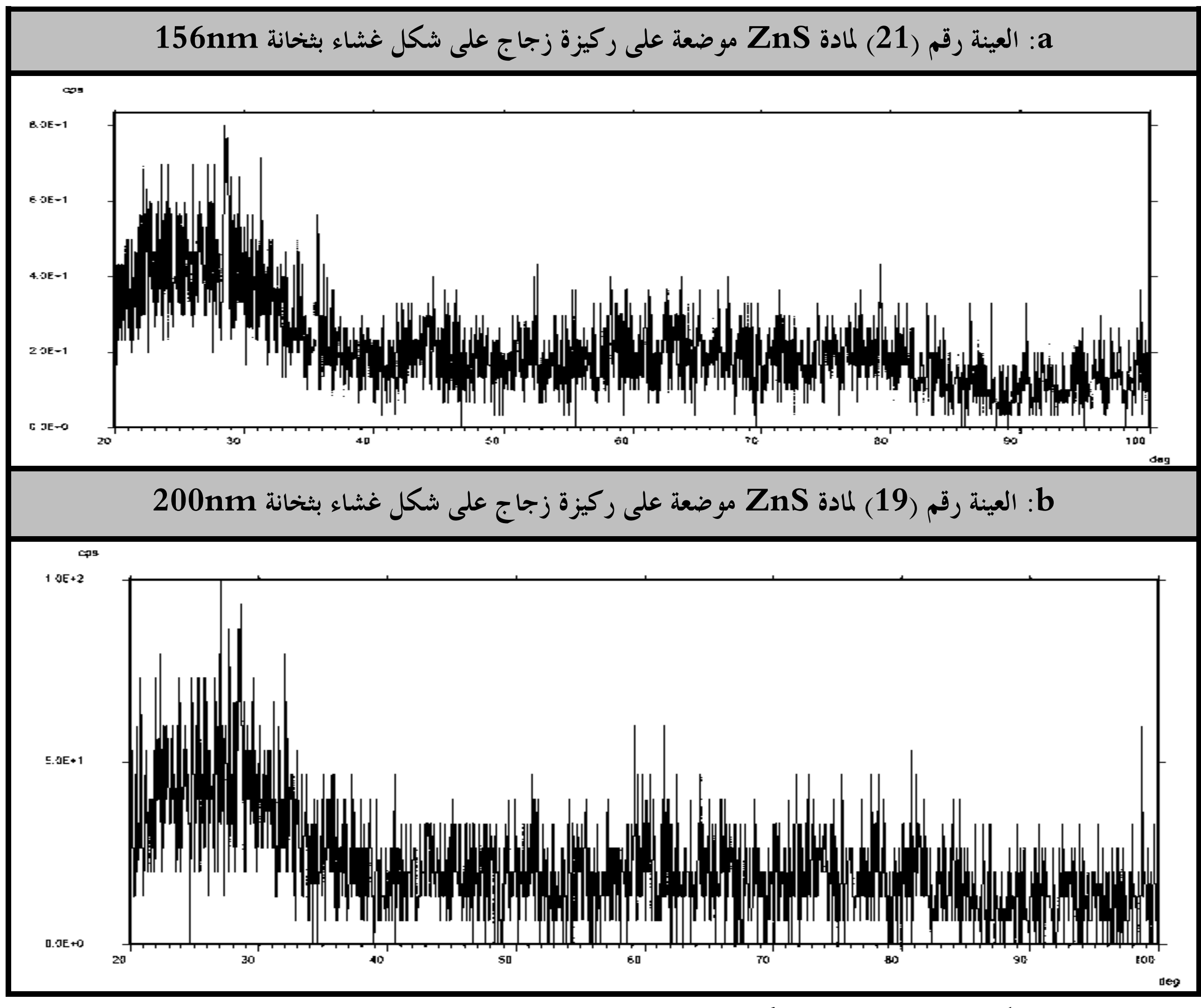
الزاوية	22	27	28.5	33	36.5	39.5	42	47.5	52	56	59	63	69.5	74	77	79	82	83	86	88.5	95.5

بمقارنتها مع بيانات الجهاز نلاحظ أنها تتطابق مع بنية **Zincblende** $(\beta - ZnS)$المكعبية البسيطة، التي تظهر في الجدول (2–5) التالي (والمأخوذة من بيانات الجهاز):

الزاوية	28.5	33	47.5	56	59	69.5	77	79	88.5	95.5	107.5	115	128.75	138.5
التوجه البلوري	111	200	220	311	222	400	331	420	422	511	440	531	620	533

- **دراسة طيف انعراج الأشعة السينية للأغشية الموضعة على ركائز الزجاج:**

عند دراسة الأغشية الموضعة على ركائز الزجاج بثخانات مختلفة بشروط الدراسة السابقة نفسها (المادة الهدف المصدرة للأشعة السينية (**Cu**) بطاقة مقدارها (**40J**) وتيار (**30A**)، وتم المسح للزاوية **2θ** على مجال(**1000– 200**) بخطوة مسح (**0.05**) حيث استغرق زمن المسح (**20min**)) وإجراء عملية تنعيم للطيف باستخدام برنامج **origen**. وجدنا من طيف الأشعة السينية أن بعض أغشية **ZnS** الموضعة على الزجاج غير متبلورة كما في الأغشية التالية:



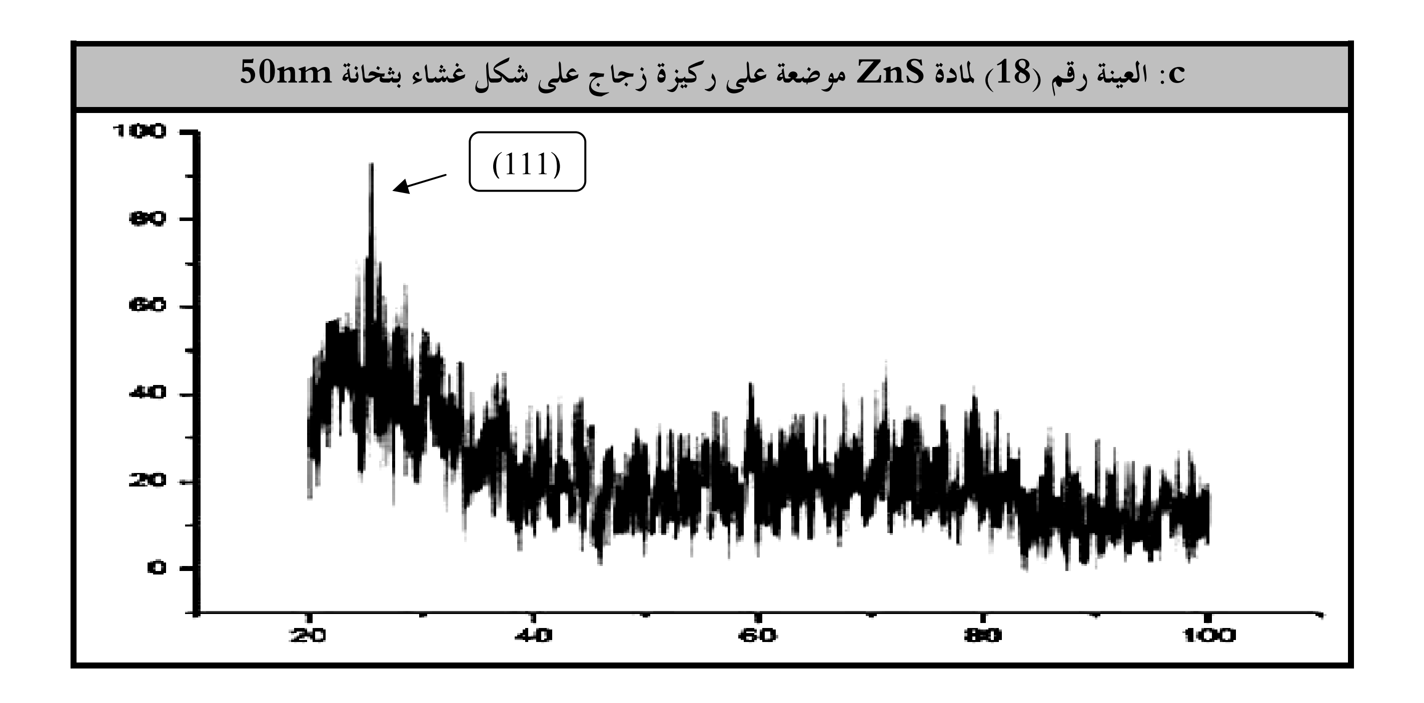
الشكل(2–5): الغشاءان (**a,b**) لمادة **ZnS** غير متبلوران موضعان على ركيزتين زجاجيتين.

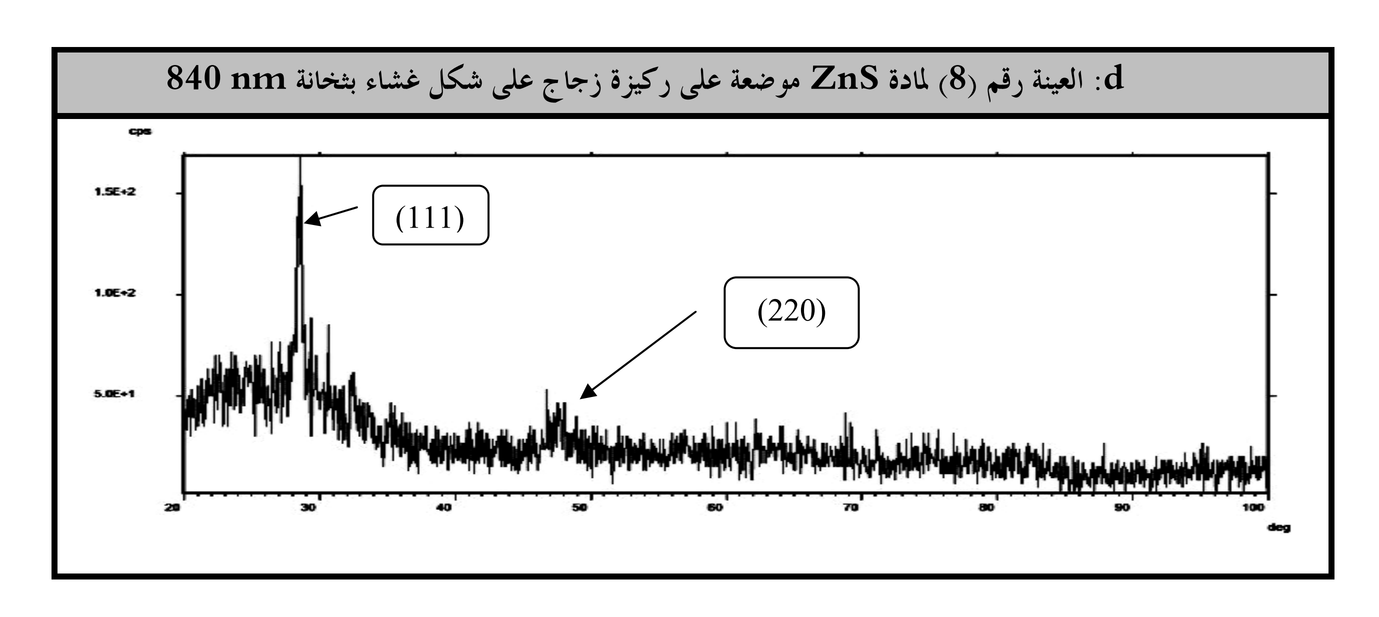
لم تظهر في الطيفين السابقين (الشكل (5-2)) للغشاءين **a,b** قمم انعراج واضحة في الطيف وهذا دليل على عدم التبلور. حيث نعلم أن عدم وجود أي قمم واضحة المعالم إشارة إلى أن الأغشية التي تم توضيعها هي إما مكونة من بلورات نانوية أو غير متبلورة أو مضطربة (فوضوية) للغاية نظراً لكون الغشاء موضع على ركيزة زجاجية ليس لها بنية بلورية (ونعلم أن الغشاء مهما كانت بنية المادة الموضعة يأخذ أولاً بنية الركيزة ثم تبدأ بنية المادة الهدف (الموضعة) بالظهور عندما يتم توضيع ثخانات عالية)، وهذا يتوافق مع المرجع[35].

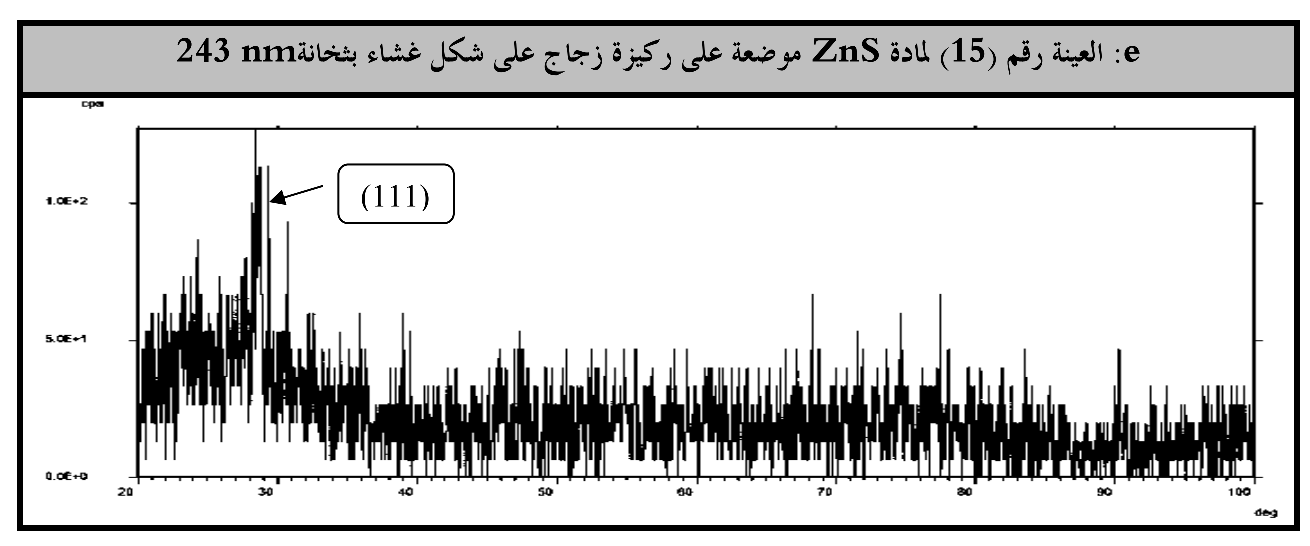
كما يمكن أن يعزى عدم التبلور إلى بعض المشاكل التي واجهت العمل التجريبي أثناء توضيع الأغشية من انقطاع مفاجئ في التيار الكهربائي ، أو ارتفاع الضغط في حجرة التوضيع مما يؤدي إلى إغلاق الصمام الرئيسي وتوقف عمل التوضيع، أو انخفاض درجة حرارة التوضيع لضرورة فصل دارة التسخين أثناء عملية التوضيع.

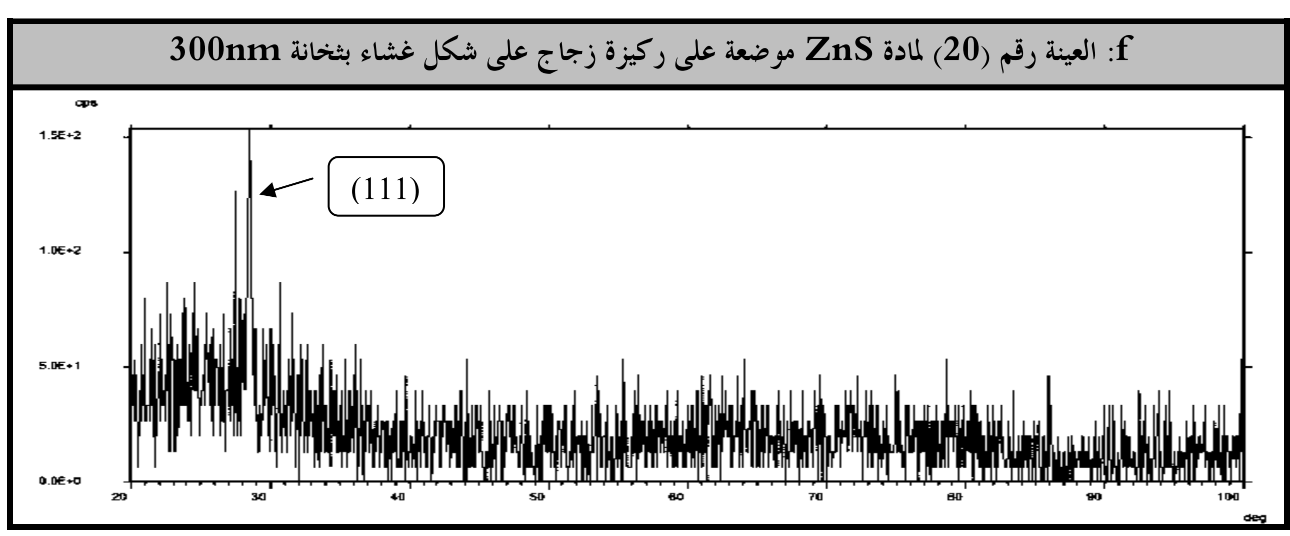
أما العينات الأخرى (**c,d,e,f**) لمادة **ZnS** الموضعة على ركائز الزجاج في الشكل (**5-3**) فنلاحظ ظهور قمة واضحة عند الزاوية (**2θ=28.50**) وقمة أخرى أصغرعند العينة رقم (8) في الشكل (**d-3-5**) عند الزاوية (**2θ=47.50**) (وهذا دليل على تبلور الغشاء) وهي تقابل المستويات (220) (**111**) لـــ **ZnS** ببنية مكعبية.

c: العينة رقم (18) لمادة **ZnS** موضعة على ركيزة زجاج على شكل غشاء بثخانة **50nm**









الشكل(3–5): الأغشية (c,d,e,f) لمادة ZnS ذات بنية مكعبية موضعة على ركائز زجاج.

ونرى في الشكل(3–5) أن طيف الانعراج للغشاء مع ثخانة ضوئية قليلة يري قمة واحدة تقابل المستوي (111) . وعند دراسة طيف الانعراج للثخانة 500 nm وما فوق يعطي قمة جديدة (220). مع زيادة الثخانة الضوئية للغشاء إلى ثخانات كبيرة تصل إلى 1000 nm فإن شدة القمة (220) أكبر من (111) وتزداد شدة القمم مع زيادة ثخانة الغشاء وهذا ما يتوافق مع المرجع[34].

5–1–1–2– ثانياً : حسابات بنيوية:

1–أبعاد الحبيبات البلورية :

➢ باستخدام علاقة Debye Scherrer : $L = \dfrac{0.9\lambda}{\beta Cos\theta}$

الواردة في الفصل الثاني و الفقرة (2–1–7)، حيث λ : طول موجة الأشعة السينية وهو يساوي1.54A°، β : عرض قمة براغ عند منتصفها [28] التي تحسب من العلاقة(2–52)، θ: الزاوية المقابلة، مع الأخذ بعين الاعتبار أن القمم الحادة تمثل تبلوراً جيداً وثخانات كبيرة فوق 1000nm، لذلك حسبنا أبعاد الحبيبات البلورية في حالة القمم العريضة وكانت قيمها تتراوح من أجل ركائز الزجاج كما في الجدول(3–5):

رقم العينة الزجاجيةg	18g	15g	20g	8g
الثخانة (nm)	50	243	300	840
(rad)β_a	0.0044	0.0044	0.0044	0.0044
(rad) β_m	0.0314	0.0122	0.0174	0.0122
(rad) β	0.031	0.012	0.017	0.011
أبعاد الحبيبات البلورية L (nm)	5	8	9	12

حيث تم حساب أبعاد الحبيبات البلورية بعد طرح تعريض الجهاز من طيف الأشعة السينية للأغشية الموضعة على ركائز الزجاج، نلاحظ أن أبعاد الحبيبات البلورية يزداد مع زيادة ثخانة الغشاء.

β:هي تساوي العرض الفعلي لقمة براغ عند منتصفها (مقدراً بالراديان rad)، وهو يحسب من العلاقة:

$$\beta = \sqrt{\beta_m^2 - \beta_a^2}$$

حيث تمثل β_m : عرض القمة المستخلص من طيف الانعراج، و β_a : هو تعريض الجهاز، وهو يساوي عرض قمة براغ لعينة السيليكون المستخدمة لاحقاً كركيزة تم توضيع غشاء ZnS عليها.

2- عامل الانفعال:

تعاني الذرات من الانفعال ε عندما تتوضع على الركيزة كونها تحاول أخذ ترتيب ذرات الركيزة أولاً، ثم بعد عدة طبقات تأخذ ذراتها بالترتيب بحسب بنيتها البلورية، وبما أن الأغشية الرقيقة هي عبارة عن عدة طبقات نانوية من الذرات فإنها تعاني من انفعال يتناقص كلما زادت ثخانة الغشاء وزاد تبلور الغشاء.

حسبنا عامل الانفعال (ε) **strain** من العلاقة: $\varepsilon = \frac{\beta Cos\theta}{4}$.

ووضعت النتائج في الجدول(4-5) التالي:

رقم العينة الزجاجيةg		18g	15g	20g	8g
الثخانة (nm)		50	243	300	840
الزجاج	ε	0.0075	0.0045	0.004	0.003

3- كثافة عدم التموضع (الانخلاعات):

تعبر كثافة عدم التموضع **δ** عن حالات الخلل الذي يحدث في نمط التركيب البلوري و يؤثر على المواقع الطبيعية للذرات الموجودة في صفوف البلورة بحيث لا يكون لها نفس احداثيات باقي الذرات المماثلة لها، حيث تعطى كثافة عدم التموضع من العلاقة : $\delta = \frac{1}{L^2}$. ونلاحظ في الجدول (5-5) أنها تتناقص مع زيادة ثخانة الغشاء وهذا منطقي لأنه عند الطبقات الأولى من الغشاء تتوضع الذرات بشكل متباعد عن بعضها مع فراغات (أماكن لذرات لم تتوضع) ولكن مع زيادة ثخانة الغشاء تصبح الذرات أكثر انتظاماً واصطفافاً وبالتالي تتناقص كثافة عدم التموضع وهذا يتوافق مع نتائجنا العملية.

قيم كثافة عدم التموضع في الجدول (5-5):

رقم العينة الزجاجيةg		18g	15g	20g	8g
الثخانة (nm)		50	243	300	840
الزجاج	δ(Lin/nm ^{2})	0.05	0.02	0.015	0.007

- كما يمكن حساب أبعاد الحبيبات البلورية من العلاقة:

$$\Delta Eg = 2.77x10^{-35} X^2 - 3.47x10^{-28} X$$

حيث **X**: يمثل مقلوب أبعاد الحبيبات البلورية **L**. أي $X = \frac{1}{L}$. و ΔEg : التغير في قيمة عرض ثغرة الطاقة بين المادة الجرمية والغشاء الرقيق: $\Delta Eg = Eg(bulk) - Eg(thin)$

مع العلم أن قيمة عرض ثغرة الطاقة للجسم الصلب من مادة ZnS (Eg=3.6eV).

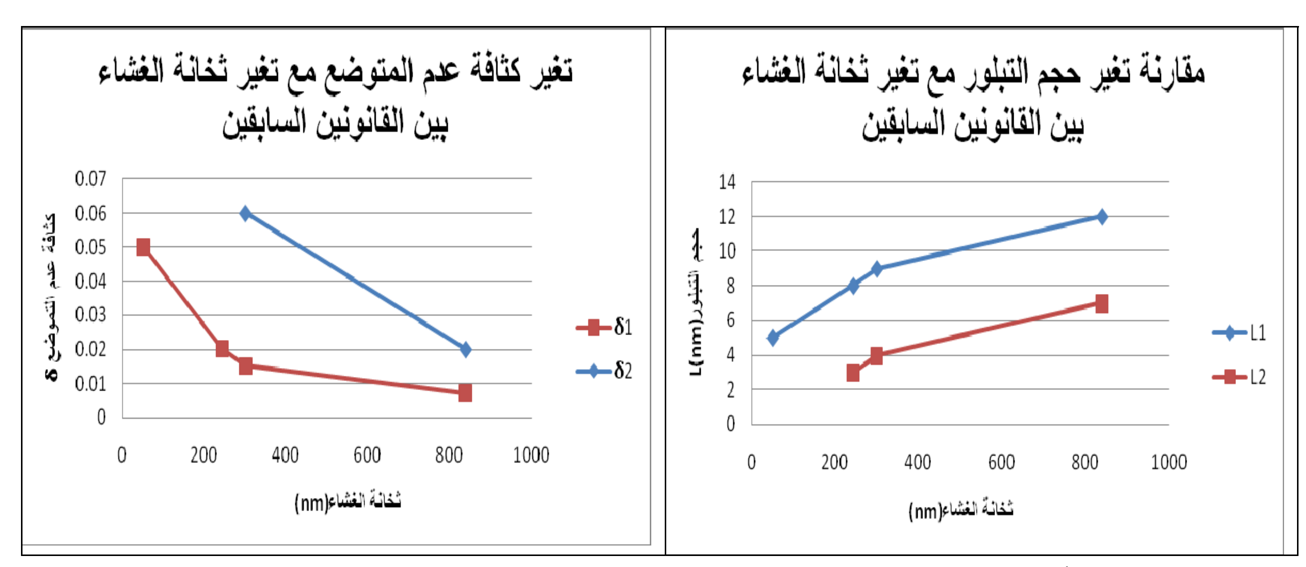
وبعد حساب قيمة ΔEg لكل غشاء نحصل على معادلة من الدرجة الثانية بالنسبة لـــ **X** بحلها نحصل على قيمة أبعاد الحبيبات البلورية للأغشية المدروسة، نضع قيمها في الجدول **(6–5)**:

رقم العينةg	18g	15g	20g	8g
ثخانة الغشاء	50	243	300	840
عرض ثغرة الطاقة $Eg(thin)$ (eV)	3.8	3.54	3.5	3.167
ΔEg (eV)	0.2	0.06	0.1	0.433
L (nm)	–	3	4	7
δ (Lin/nm^2)	–	25	0.06	0.02

مع العلم أنه تم تحويل عرض ثغرة الطاقة إلى الواحدات الدولية (جول)، ونتج أبعاد الحبيبات البلورية بالـــ m.

نلاحظ هنا أيضاً أن أبعاد الحبيبات البلورية يزداد بزيادة ثخانة الغشاء أيضاً، لكن قيم أبعاد الحبيبات البلورية في هذه العلاقة أصغر من الفقرة السابقة. ولكن في كلا الحالتين كانت النتائج قريبة من قيم المرجع [39] [31].

وهنا أيضاً تتناقص كثافة عدم التموضع مع زيادة ثخانة الغشاء، ولو أن قيمها أكبر منها في الفقرة السابقة، وللتوضيح نرسم في الشكل (4–5) تغير أبعاد الحبيبات البلورية وكثافة عدم التموضع مع تغير ثخانة غشاء ZnS.



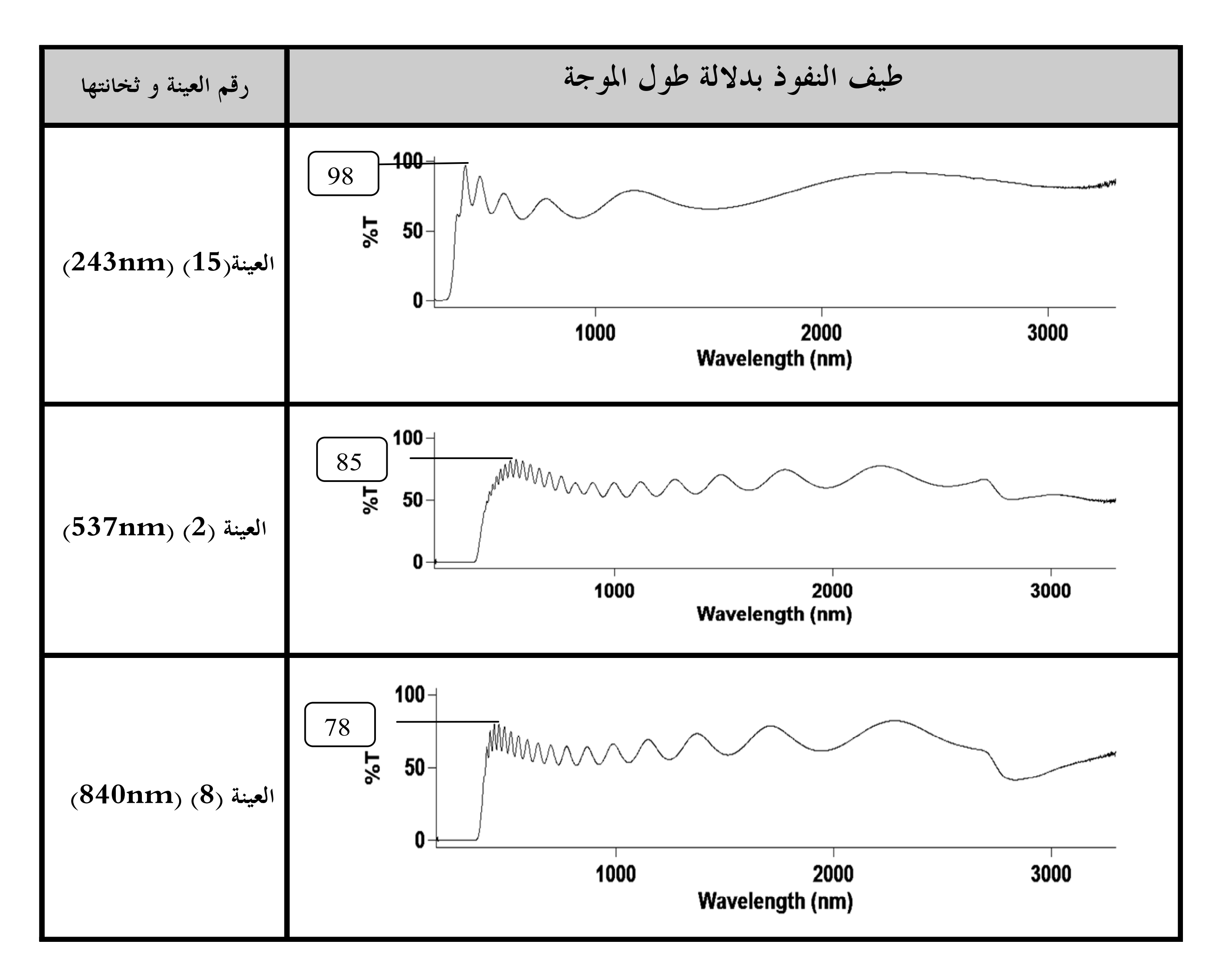
الشكل(4–5): تغير أبعاد الحبيبات البلورية وكثافة عدم التموضع مع تغير ثخانة الغشاء.

5-1-2- دراسة الخواص الضوئية للأغشية الموضعة على ركائز الزجاج (حالة الطبقات الشديدة العكس):

5-1-2-1- النفوذية الضوئية للأغشية الموضعة :

بدراسة طيف نفوذية الأغشية الرقيقة الموضعة باستخدام مقياس الطيف حصلنا على المنحنيات التالية التي نلاحظ فيها نفوذية الأغشية تقع في المجال (80% -90%) من أجل الأطوال الموجية الأكبر من (400nm) ، مع ظهور قمم و قيعان التداخل التي يختلف عددها باختلاف ثخانة الغشاء ، كما نلاحظ تحت قيمة (400nm) هنالك تناقص حاد في قيمة النفوذية نتيجة امتصاص قوي للغشاء عند قيمة عرض المجال المحظور، كما نلاحظ أن زيادة ثخانة الغشاء تقابل نقصان في النفوذية الضوئية نتيجة زيادة الامتصاص .

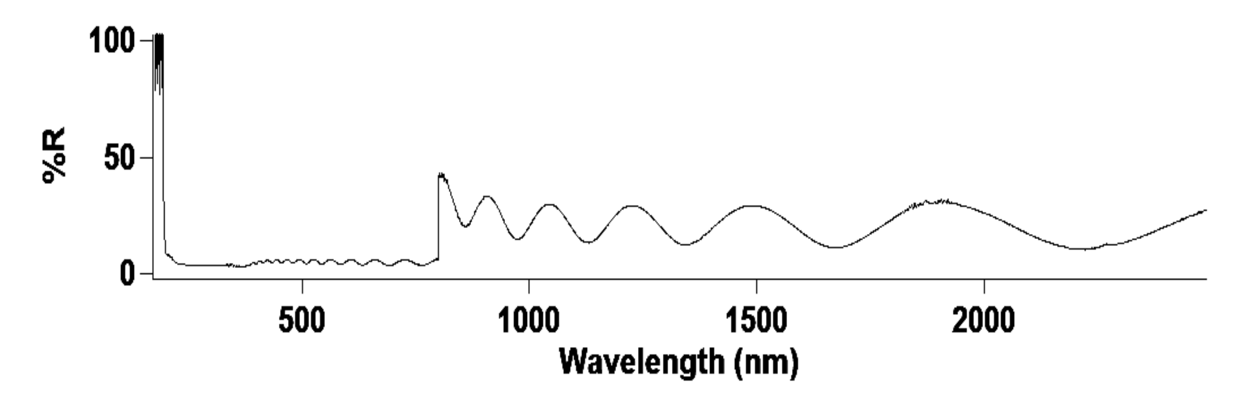
في الشكل (5-5) بعض أطياف النفوذ للأغشية الموضعة :



الشكل (5-5) : طيف النفوذية لبعض أغشية ZnS الموضعة على ركائز الزجاج

5-1-2-2- حساب قرينة الانكسار من منحني الانعكاسية :

في الشكل (6-5) طيف انعكاسية غشاء ZnS تم قياسه باستخدام جهاز قياس الطيف :



الشكل (6-5): طيف انعكاسية غشاء ZnS موضع على ركيزة زجاجية

نستعين ببيانات المنحني من الجهاز لأخذ قيم (R%) ونقسمها على(100) للحصول على قيمة R ، وبتعويضها في العلاقة

$$\frac{n_e}{n_o} = \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}}$$

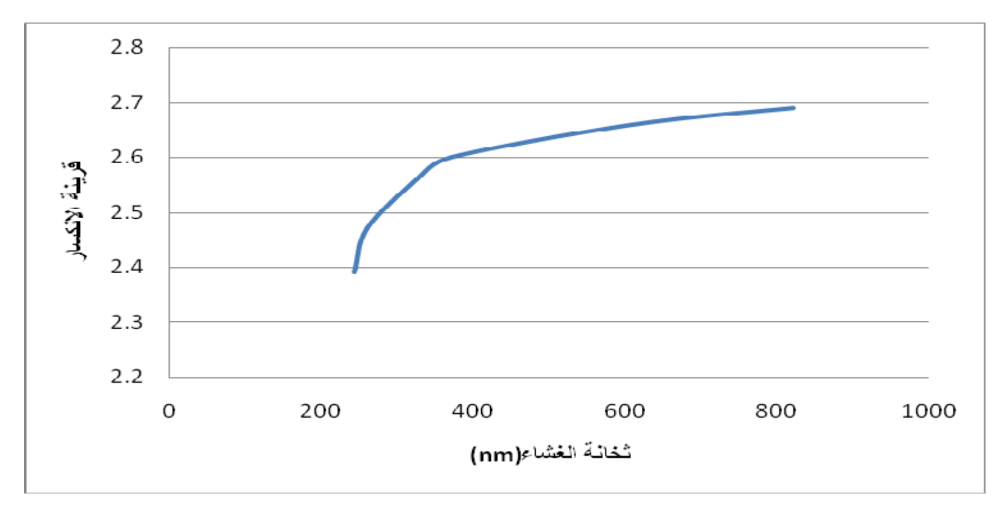
مع اعتبار أن قرينة انكسار الهواء $n_0 = 1$ ، وتعويضها في المعادلة السابقة مع قيم R على كامل المجال نحصل على قيم n_e قرينة الانكسار المكافئة للغشاء على كامل المجال الطيفي السابق .

وكانت نتائج قرينة الانكسار على طول المجال المرئي متقاربة نحسب متوسطها للحصول على قيمة قرينة انكسار الغشاء .

في الجدول (7-5) قيم قرائن انكسار الغشاء الناتجة بعد الحساب لمجموعة من الأغشية :

$n_1 = 2.56$	$n_2 = 2.24$	$n_3 = 2.55$	$n_4 = 2.1$	$n_5 = 2.6$
$n_6 = 2.48$	$n_7 = 2.69$	$n_8 = 2.22$	$n_9 = 2.26$	$n_{10} = 2.24$
$n_{11} = 1.65$	$n_{12} = 2.66$	$n_{13} = 2.35$	$n_{14} = 3.04$	$n_{15} = 2.39$
$n_{16} = 2.47$	$n_{17} = 2.15$	$n_{18} = 2.76$	$n_{19} = 2.63$	$n_{20} = 2.39$

وعند رسم تغيرات قرينة الانكسار بتغير ثخانة الغشاء نحصل على المنحني (5-7) التالي:

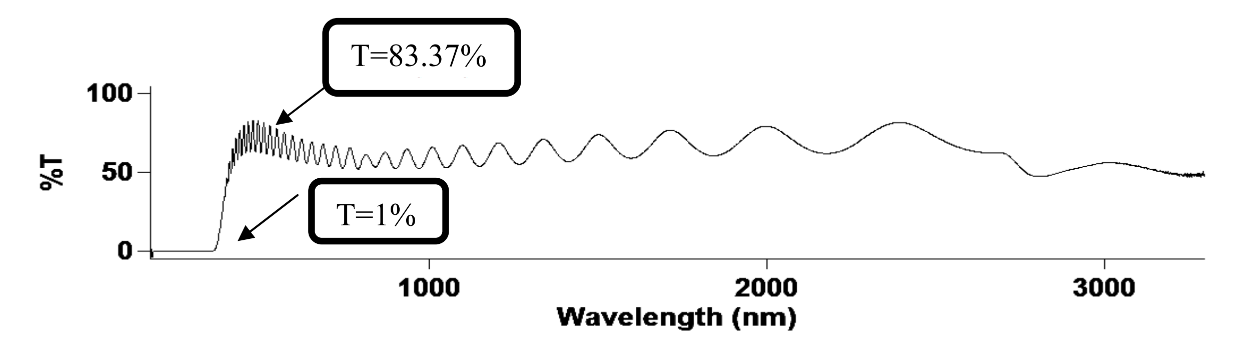


الشكل (5-7): تغير قرينة الانكسار بتغير ثخانة غشاء **ZnS**.

نلاحظ من الشكل زيادة قرينة انكسار مادة **ZnS** بزيادة ثخانة الغشاء نظراً لزيادة الكثافة الضوئية للوسط الذي يجتازه الضوء (الغشاء).

5-1-2-3- <u>حساب قرينة الانكسار من منحني النفوذية :</u>

باستخدام العلاقة (2-40) حسبنا قيم N^* للأغشية (رمز N^* في المرجع هو **N** فقط و حوفظ على ذلك في جدول القيم (5-8))، والتي سبق تعريفها في الفصل الثاني، على اعتبار أن قرينة انكسار الهواء $n_0 = 1$ وقرينة انكسار الزجاج $n_m = 1.5$ ، وتم قياس قيم T_{max} و T_{min} من منحنيات نفوذية الأغشية على كامل مجال طور الموجة المقيس كما في الشكل (5-8) :



الشكل (5-8) : منحني النفوذية لغشاء **ZnS** يظهر قيمة **T%**

وفي الجدول(5−8) القيم الناتجة :

$N_1 = 4.589$	$N_2 = 4.588$	$N_3 = 4.589$	$N_4 = 4.588$	$N_5 = 4.589$
$N_6 = 4.5781$	$N_7 = 4.587$	$N_8 = 4.587$	$N_9 = 4.588$	$N_{10} = 4.585$
$N_{11} = 4.589$	$N_{12} = 4.584$	$N_{13} = 4.592$	$N_{14} = 4.592$	$N_{15} = 4.593$
$N_{16} = 4.594$	$N_{17} = 4.593$	$N_{18} = 4.581$	$N_{19} = 4.593$	$N_{20} = 4.594$

وبالتعويض في العلاقة (2−41) نحصل على قيم قرينة الانكسار للأغشية n_f المدروسة،كما في الجدول(5−9):

n_{f1} =2.987	n_{f2} =2.987	n_{f3} =2.987	n_{f4} =2.987	n_{f5} =2.987
n_{f6} =2.983	n_{f7} =2.987	n_{f8} =2.987	n_{f9} =2.987	n_{f10} =2.986
n_{f11} =2.987	n_{f12} =2.985	n_{f13} =2.988	n_{f14} =2.988	n_{f15} =2.989
n_{f16} = 2.989	n_{f17} = 2.989	n_{f18} = 2.985	n_{f18} = 2.989	n_{f20} = 2.989

نلاحظ من قيم الجدول (5−9): أن قرينة الانكسار المحسوبة من العلاقة (2−41) ثابتة تقريباً وتعطي قيم تقريبية لقرينة الانكسار وهي لا تعطي تغيرات قرينة الانكسار بتغير ثخانة الغشاء على عكس العلاقة المستخدمة في الفقرة (4−5−2−1)، والسبب يكمن في التقريبات المستخدمة في هذه العلاقة التجريبية.

5−1−2−4− حساب ثخانة الأغشية من خلال القانون التجريبي :

بعض الأغشية الناتجة كانت غير معروفة الثخانة لعطل في الجهاز لذلك استعنا بجهاز مقياس الطيف وقسنا طيف الانعكاس بتغير طول الموجة، وأصبحت تظهر على المنحنيات قمم وقيعان نتيجة تداخل الأشعة الواردة والمنعكسة كما ورد في الفصل النظري .

بعد القمم التي تظهر في منحني الانعكاسية، واستخدام العلاقة التجريبية المرافقة لبرنامج الجهاز [49] [50]:

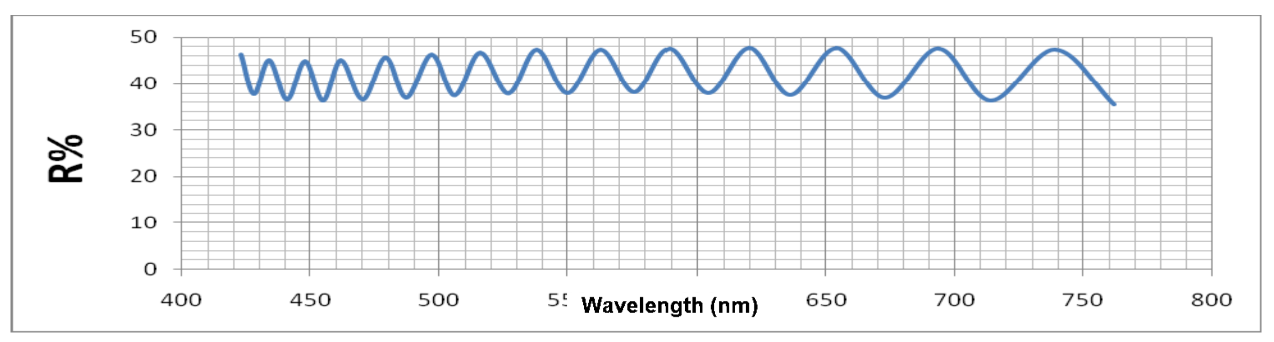
$$d = \frac{m}{2D_m\sqrt{n^2 - Sin\theta}} \qquad (5-1)$$

حيث d ثخانة الغشاء، m: عدد القمم على مجال معين، n: قرينة الانكسار التي حسبت في الفقرة السابقة وأخذ متوسط القيم على المجال المدروس نفسه (المرئي)، θ : زاوية ورود الشعاع على سطح الغشاء (وقد تمت معايرة الجهاز بحيث ترد

الأشعة بزاوية ورود ($12.5°$)، D_m: مقلوب مجال الطول الموجي الذي ظهرت فيه قمم التداخل (أي نقوم بأخذ قيمة مجال الطول الموجي المدروس من طيف الانعكاس **[740–423nm]**، ثم مقلوب هذا المجال ($1/(740-423)$)).

وفي ما يلي طريقة القياس :

نستعين بجزء من طيف الانعكاس على المجال المرئي من طول الموجة :



الشكل (**5–9**) : طيف الانعكاسية لأحد العينات ضمن المجال المرئي

نلاحظ أن عدد القمم في المنحني $D_m = 13$، وزاوية ورود الأشعة على العينة كانت $\theta = 12.5^o$ وهي على مجال من طول الموجة $\lambda = (740-423)nm$، و قيمة قرينة الانكسار المحسوبة على ذلك المجال (**n=2.4865**) ، وبالتعويض في العلاقة (**5–1**) تكون قيمة ثخانة الغشاء(**d=960.4nm**) .

بالمثل تم حساب ثخانة الغشاء للعينات السابقة والنتائج في الجدول (**5–10**):

d_1 =326.18	d_2 =536.88	d_3 =368.54	d_4 =499.48	d_5 =370.84
d_6 =960.40	d_7 =821.64	d_8 =839.58	d_9 =578.76	d_{10} =750.83
d_{11} =885.48	d_{12} =608.97	d_{13} =585.80	d_{14} =192.92	d_{15} =243.25
d_{16} =259.70	d_{17} =191.15	d_{18} = 50	d_{19} = 200	d_{20} = 300

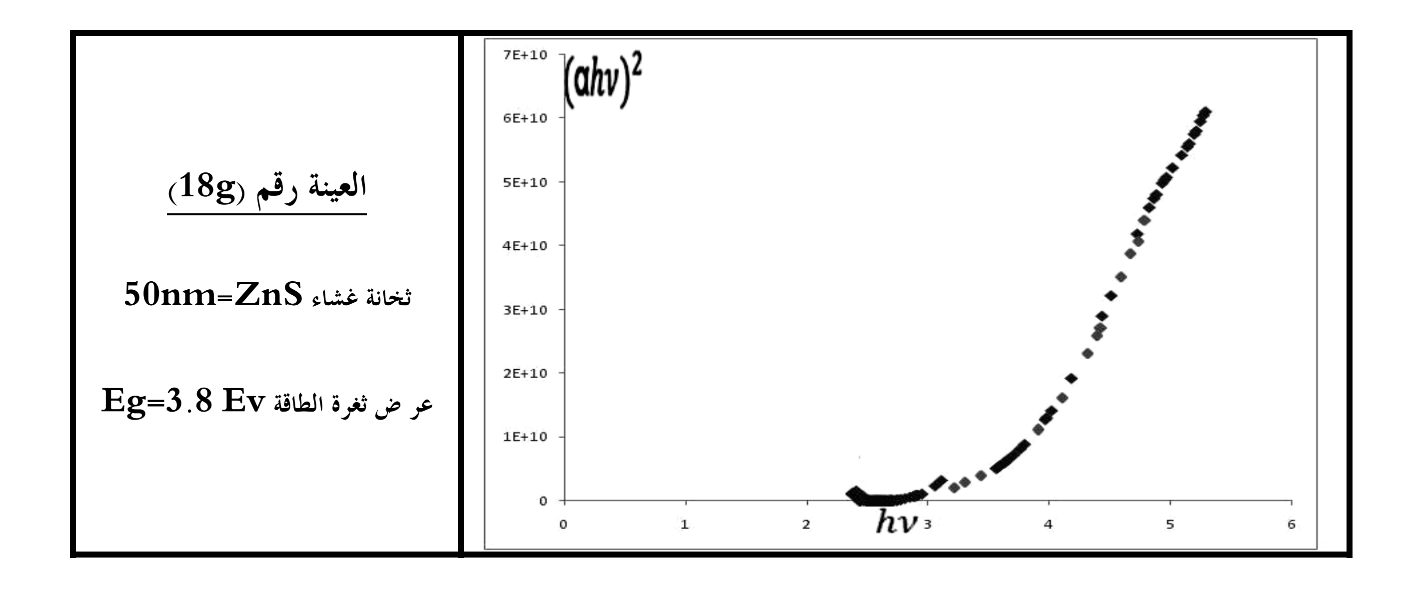
إن العينات ذات الأرقام (**18–19–20**) في الجدول (**5–10**) التي حسبت ثخاناتها من القانون التجريبي (**300–200–50nm**)، تم أخذ ثخاناتها من بلورة الكوارتز الموصولة ببرنامج حاسوبي، والموجودة داخل حجرة التبخير ذات الخلاء العالي التي تم توضيع الأغشية داخلها، وقد حصلنا منها على قيم الثخانات التالية على الترتيب (**286–191–54nm**)، وهذا الفارق في القيمة يعزى لسببين: الأول لكون القانون تجريبي تقريبي يتضمن ارتياباً في الحساب، والثاني لكون بلورة الكوارتز مجاورة لأحد أغشية **ZnS** داخل حجرة التبخير فهي تعطي قيمة تقريبية قريبة من القيمة الحقيقية لذلك الغشاء فقط، وعند حساب الارتياب النسبي المئوي في استخدام القانون التجريبي نلاحظ أنه يقدر بقيمة

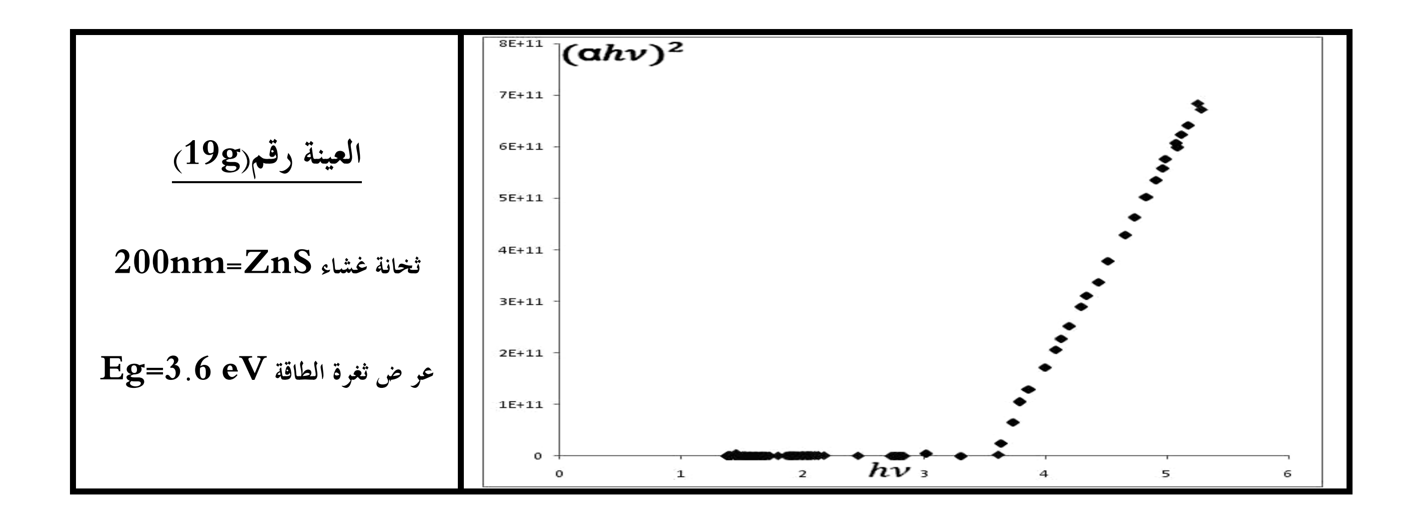
(4.7%)، ويزداد الاختلاف في قيمة ثخانة الغشاء بين القيمة المقيسة ببلورة الكوارتز و القيمة المحسوبة من القانون التجريبي كلما قلت ثخانة الغشاء أي كلما بعد موقع الركيزة التي وضع عليها عن بلورة الكوارتز.

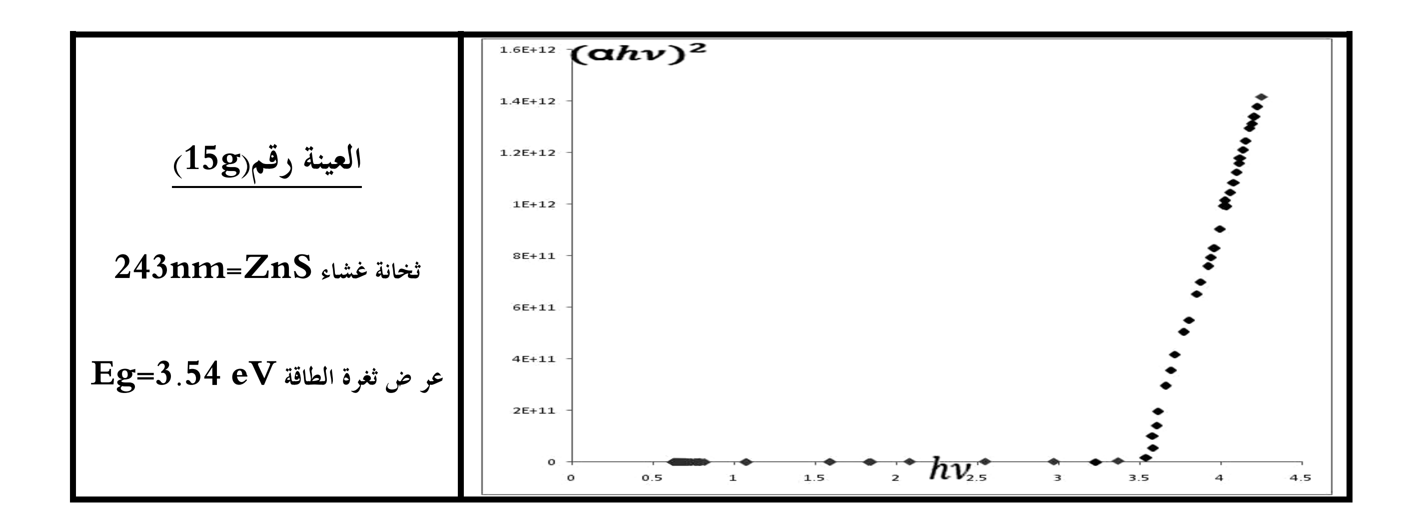
5-1-2-5- حساب عرض ثغرة الطاقة من نظرية الامتصاص :

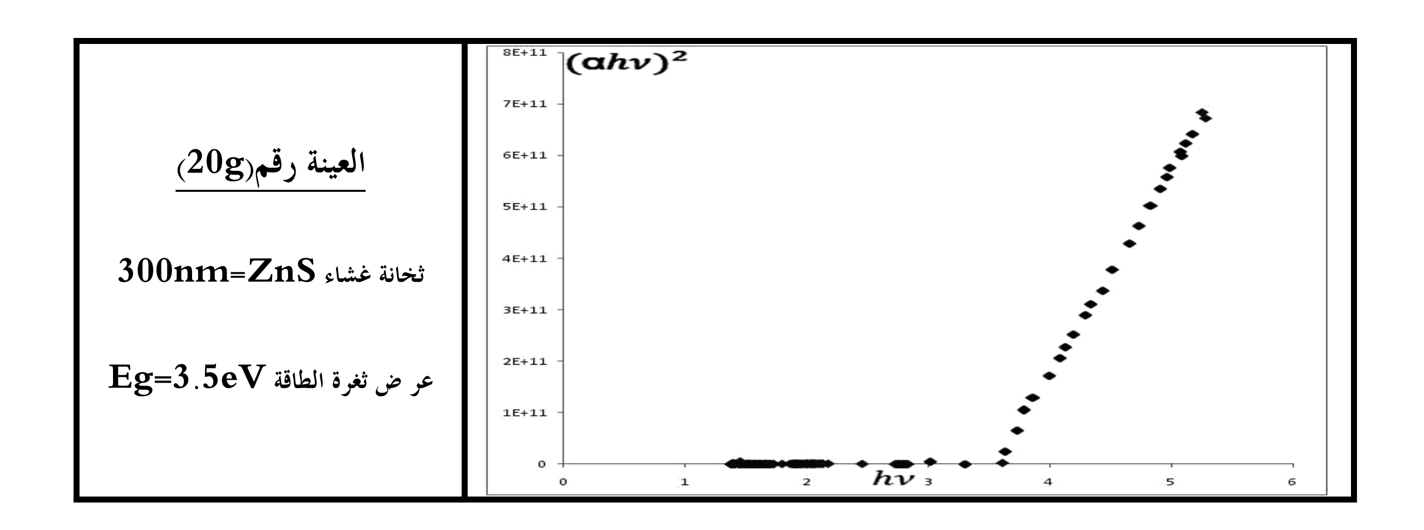
بالاستعانة بعلاقة انشتاين: $\alpha = (h\nu - Eg)^{1/2} / h\nu$ ، وعلى اعتبار (n=1/2) من أجل ثغرة الطاقة المباشرة، نحسب معامل الامتصاص α من منحني النفوذية T حيث $\alpha = -\frac{10^7}{d}\ln(T)$ بواحدة (cm^{-1}) على كامل المجال الطيفي لمنحني النفوذ، على اعتبار أن d: ثخانة الغشاء. ثم نحسب $h\nu = \frac{1240}{\lambda}$ بواحدة (eV)، ونرسم تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $(h\nu)$، ومن المعادلة نحصل على عرض الفجوة E_g مقدرة بالإلكترون فولط (eV)، من الجزء المستقيم للمنحني البياني المستنتج من $\alpha = 0$.

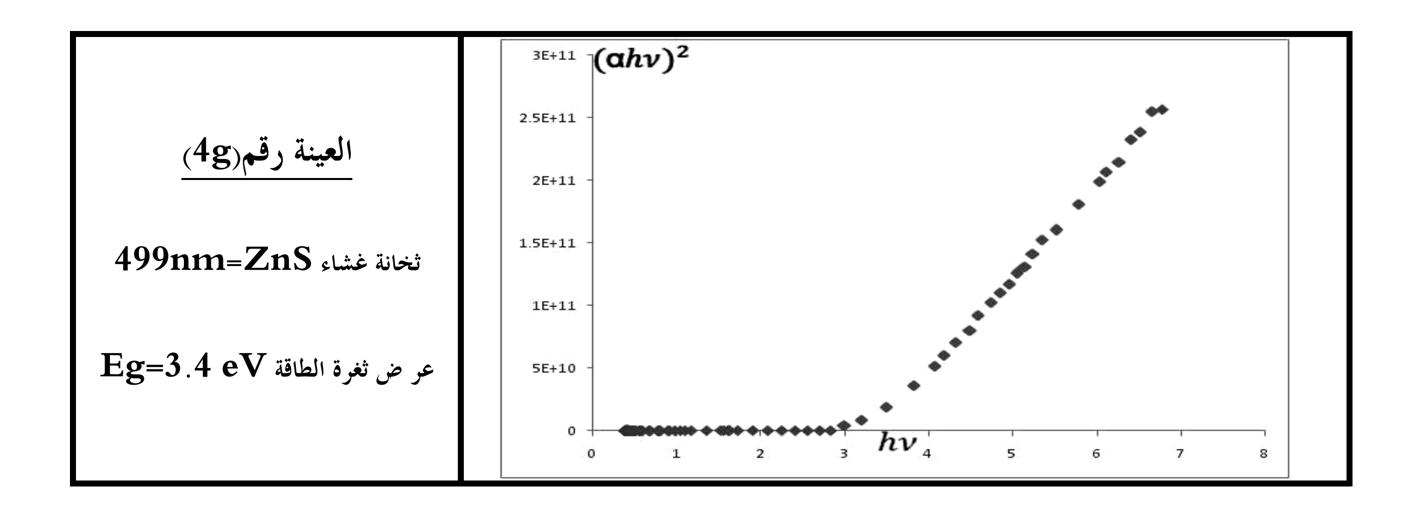
و في ما يلي المنحنيات لمجموعة من العينات و كيفية تعيين عرض ثغرة الطاقة :



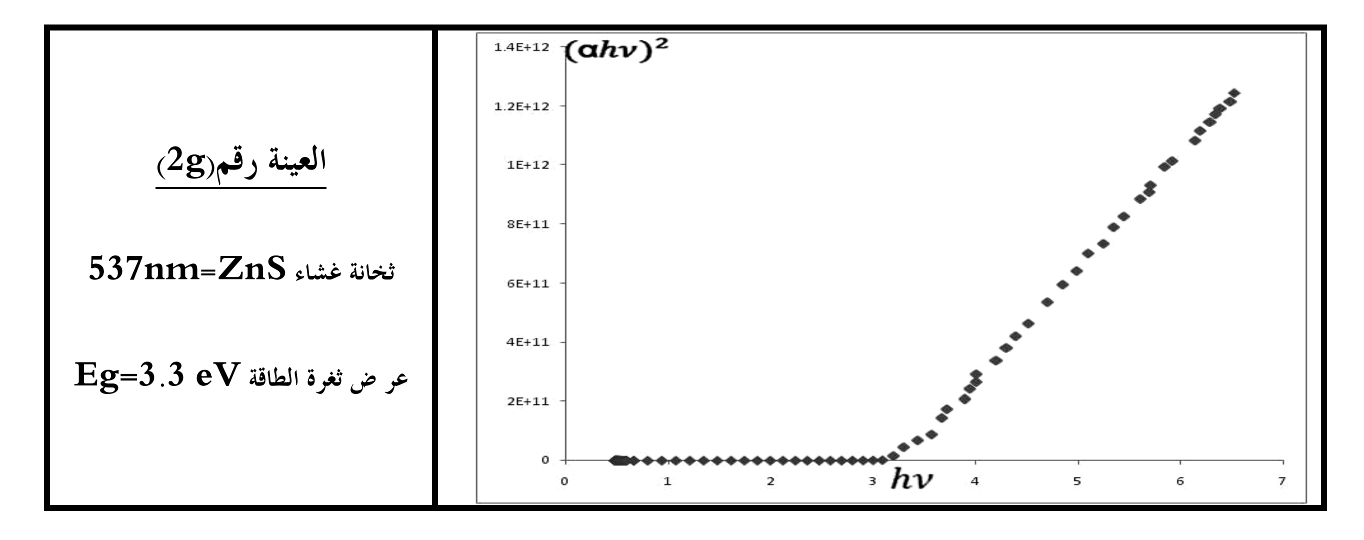

العينة رقم(19g)
ثخانة غشاء ZnS=200nm
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.6 eV
(αhν)²
hν
8E+11
7E+11
6E+11
5E+11
4E+11
3E+11
2E+11
1E+11
0
0 1 2 3 4 5 6


العينة رقم(15g)
ثخانة غشاء ZnS=243nm
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.54 eV
(αhν)²
hν
1.6E+12
1.4E+12
1.2E+12
1E+12
8E+11
6E+11
4E+11
2E+11
0
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5

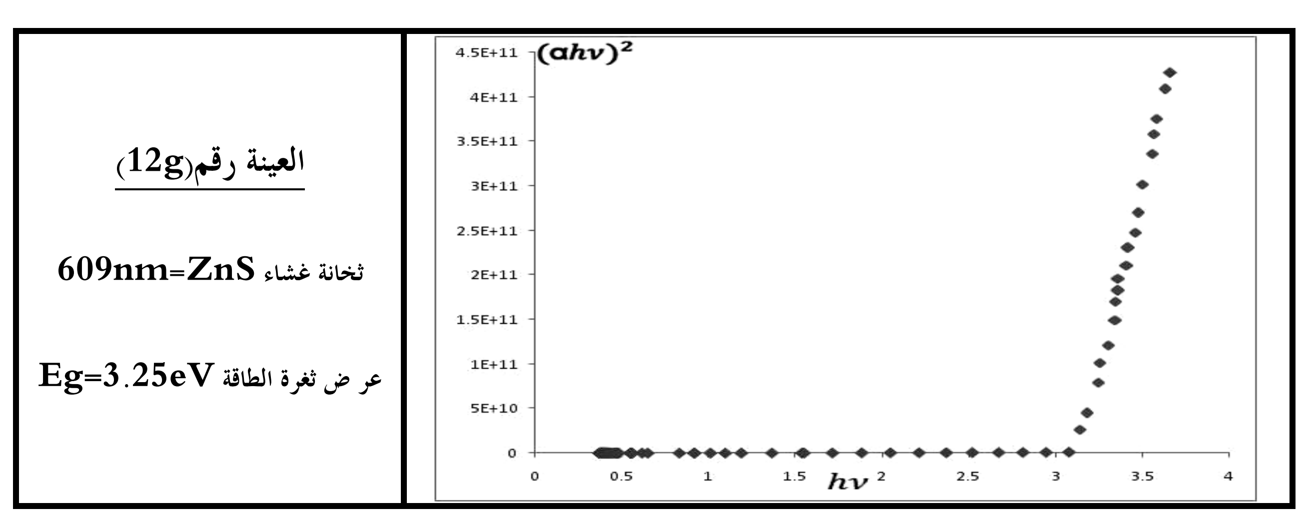

العينة رقم(20g)
ثخانة غشاء ZnS=300nm
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.5eV
(αhν)²
hν
8E+11
7E+11
6E+11
5E+11
4E+11
3E+11
2E+11
1E+11
0
0 1 2 3 4 5 6



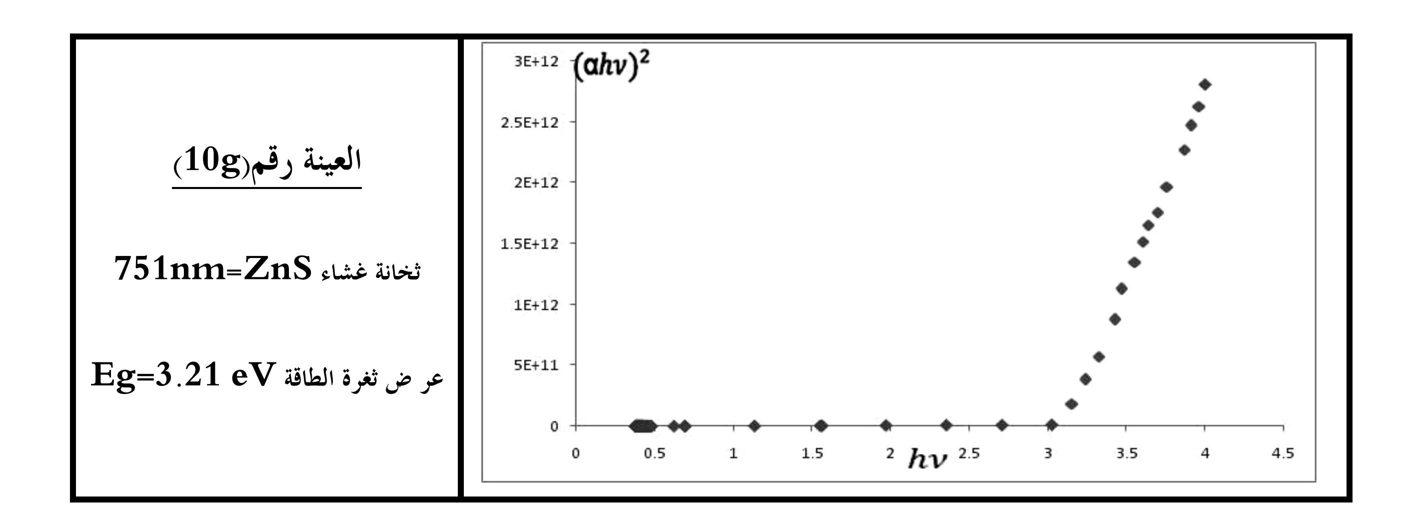
العينة رقم(4g)
ثخانة غشاء ZnS=499nm
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.4 eV
(αhν)²
hν

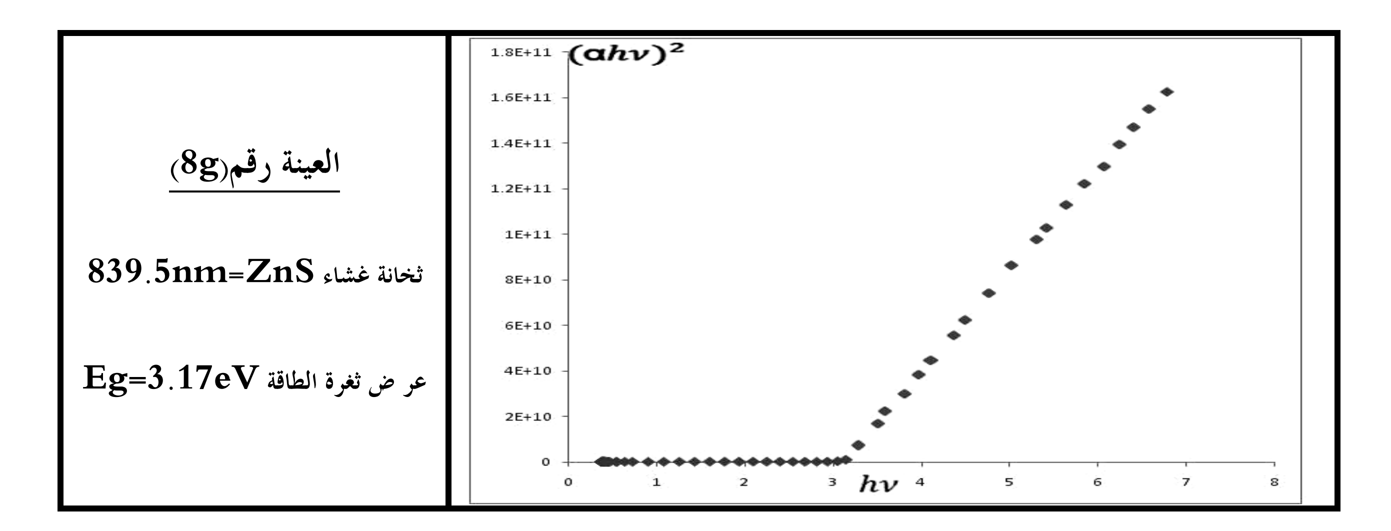


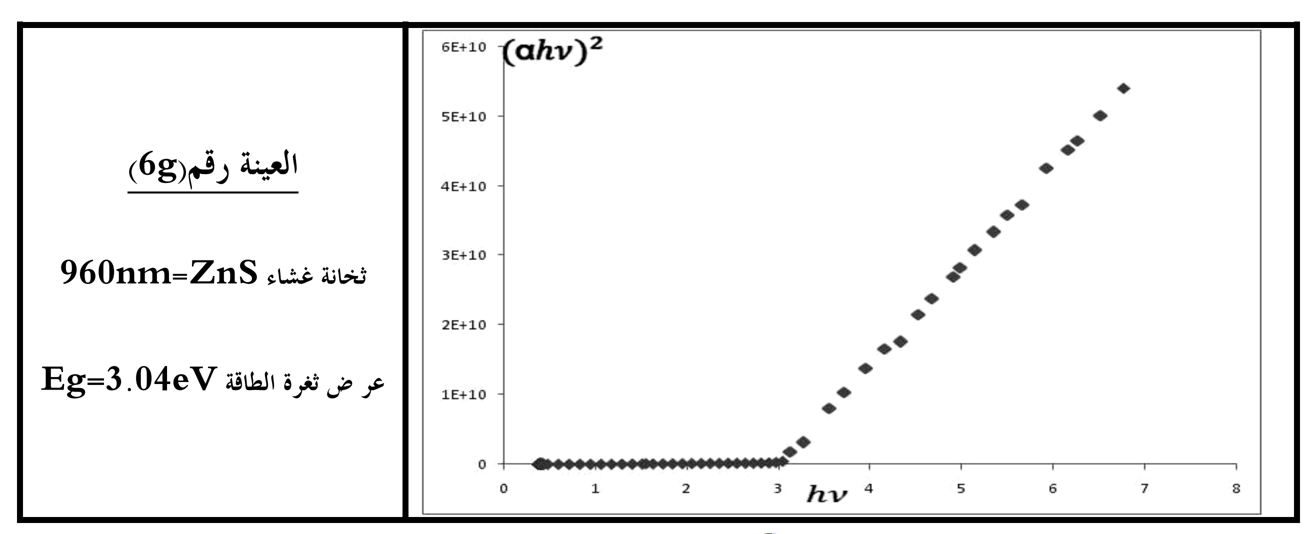
العينة رقم(2g)
ثخانة غشاء ZnS=537nm
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.3 eV
(αhν)²
hν



العينة رقم(12g)
ثخانة غشاء ZnS=609nm
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.25eV
(αhν)²
hν







الشكل (5–10) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ للعينات ذات الركائز الزجاجية

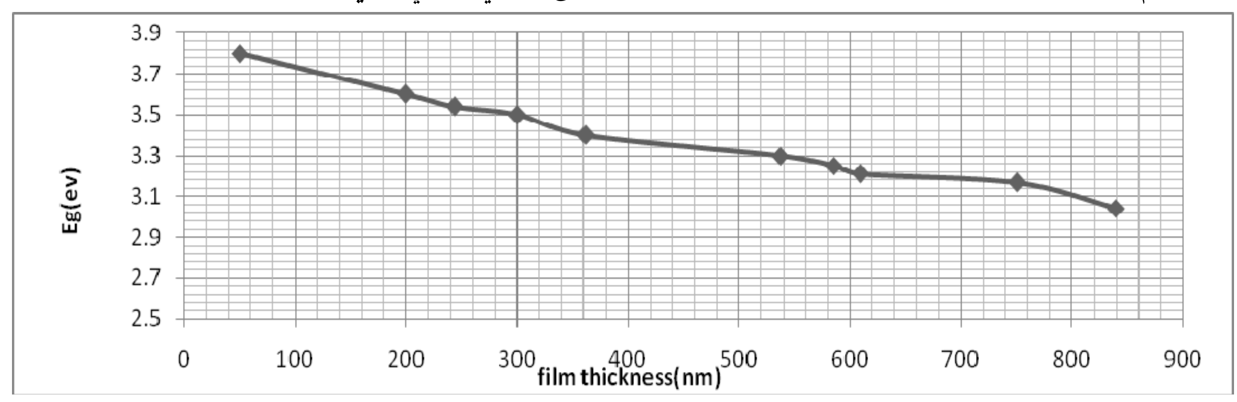
5-1-2-6- تغير عرض ثغرة الطاقة بتغير ثخانة الأغشية :

بعد حساب عرض ثغرة الطاقة من منحنيات تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ نعرض النتائج في الجدول (5-11):

عرض ثغرة الطاقة	ثخانة الغشاء	رقم العينة
3.8	50	18g
3.6	200	19g
3.54	243	15g
3.5	300	20g
3.4	499	4g
3.3	536	2g
3.25	608	12g
3.21	750	10g
3.167	839	8g
3.04167	960	6g

وهي قيم أخفض من القيم التي تم الحصول عليها في المرجع [39] [33]، حيث تناقص عرض ثغرة الطاقة في المرجع [33] من القيمة (3.775eV) من أجل ثخانة غشاء (200nm) إلى القيمة (3.625eV) من أجل الثخانة (920nm). وكذلك الأمر في المرجع [39] حيث تناقص عرض ثغرة الطاقة من القيمة (4.1eV) من أجل الثخانة (50nm) إلى القيمة (3.7eV) من أجل الثخانة (300nm).

وعند رسم تغييرات عرض ثغرة الطاقة بتغير ثخانة الغشاء حصلنا على المنحني الخطي التالي :



الشكل (5-11): منحني تناقص عرض ثغرة الطاقة بزيادة ثخانة الغشاء .

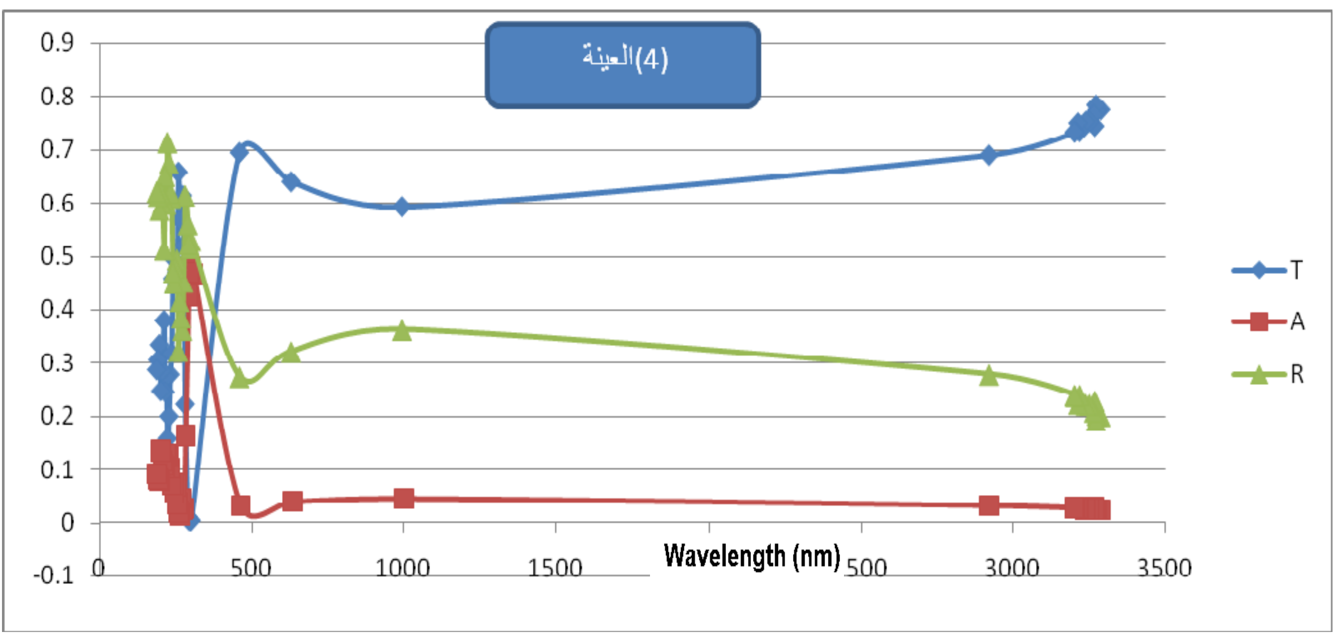
في الشكل السابق تتناقص فجوة الطاقة مع زيادة ثخانة الغشاء، يمكن أن نعزي ذلك إلى إمكانية تشكل بنية تحوي عيوباً في الغشاء أثناء تحضيره بسبب وجود ذرات غريبة شائبة في تكوينه من حجرة التوضيع، هذا يمكن أن يسبب ظهور سويات مسموحة بالقرب من عصابة النقل في المنطقة المحظورة، أما في حالة الغشاء الثخين يمكن لهذه السويات المسموحة أن تندمج مع عصابة النقل مسببة انخفاضاً في عرض فجوة الطاقة .

5-1-2-7- حساب عرض ثغرة الطاقة آخذين بعين الاعتبار الامتصاص :

على اعتبار أن **R+T+A=1** و مع العلم أن قيمة الامتصاص صغيرة تم إهمالها في الفقرة السابقة ،لكن سوف نأخذها بعين الاعتبار في الحسابات من خلال علاقة معامل الامتصاص التالية:

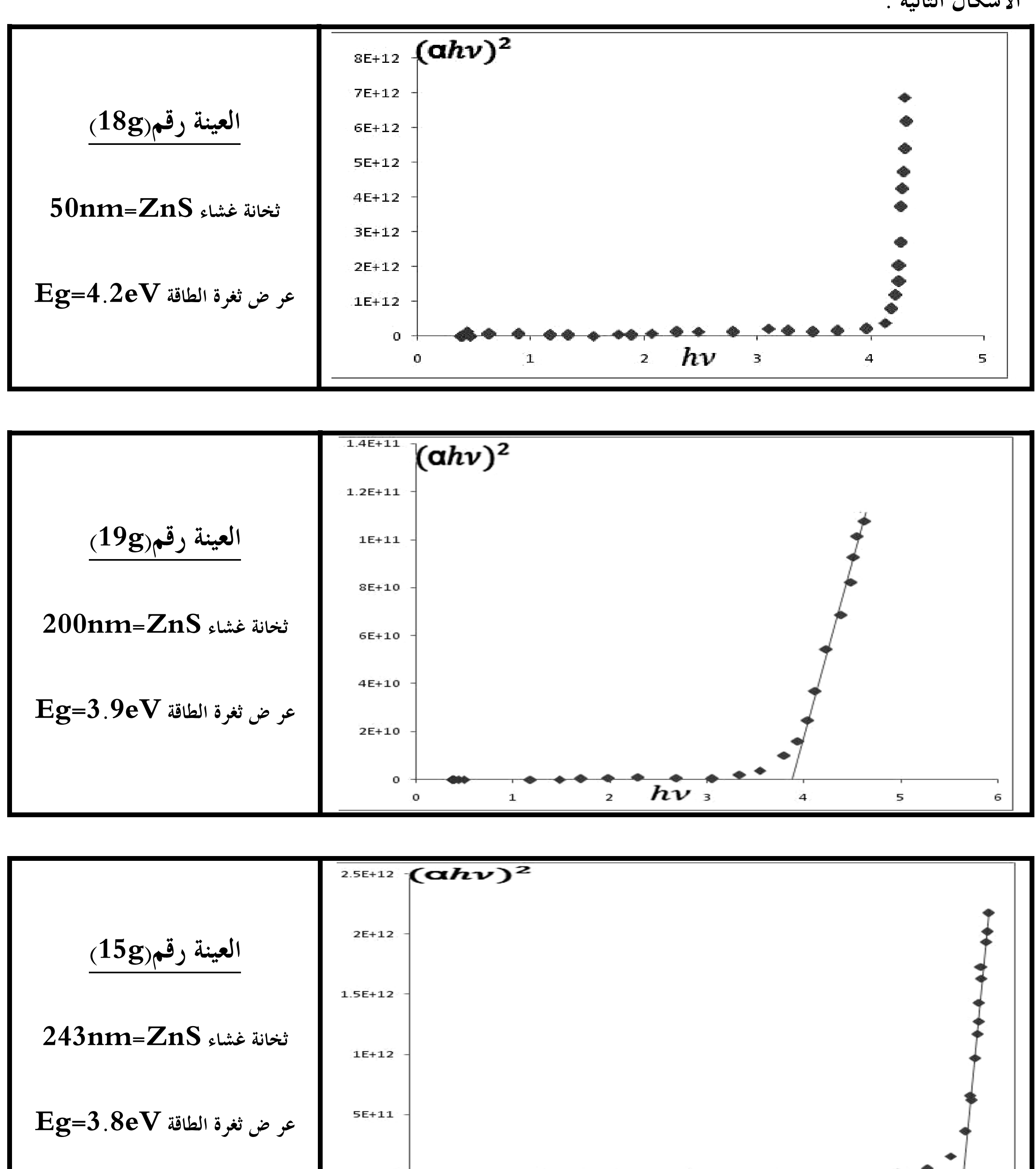
$$\alpha d = \ln[\frac{(1-R)^2}{T}]$$

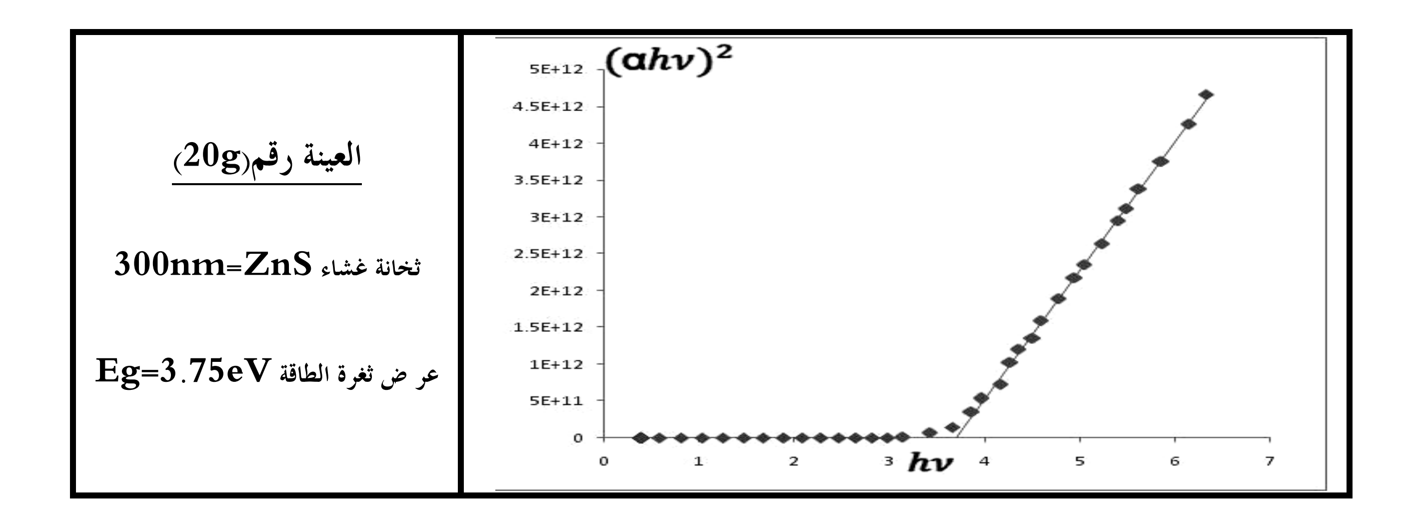
من أجل ذلك أعدنا حساب قيمة معامل الامتصاص α، وذلك بالاستفادة من منحنيي الانعكاسية والنفوذية بعد أن اخترنا فقط قيم كل من الانعكاسية والنفوذية والامتصاصية التي لهما نفس قيمة طول الموجة من البيانات المرافقة للمنحنيات التي حصلنا عليها من الجهاز كما في الشكل (5-12) حيث نلاحظ قيمة الامتصاصية الصغيرة و شبه المعدومة على كامل مدى الطول الموجي عدا في منطقة ثغرة الطاقة ونلاحظ التكامل في منحنيي النفوذية و الانعكاسية .

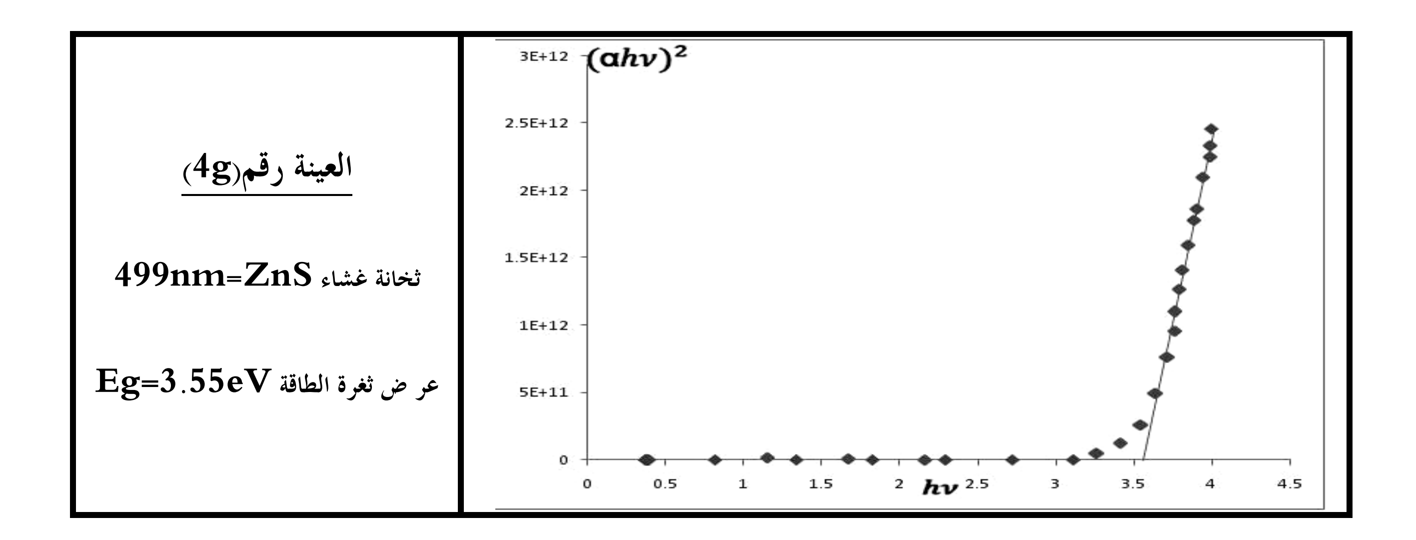


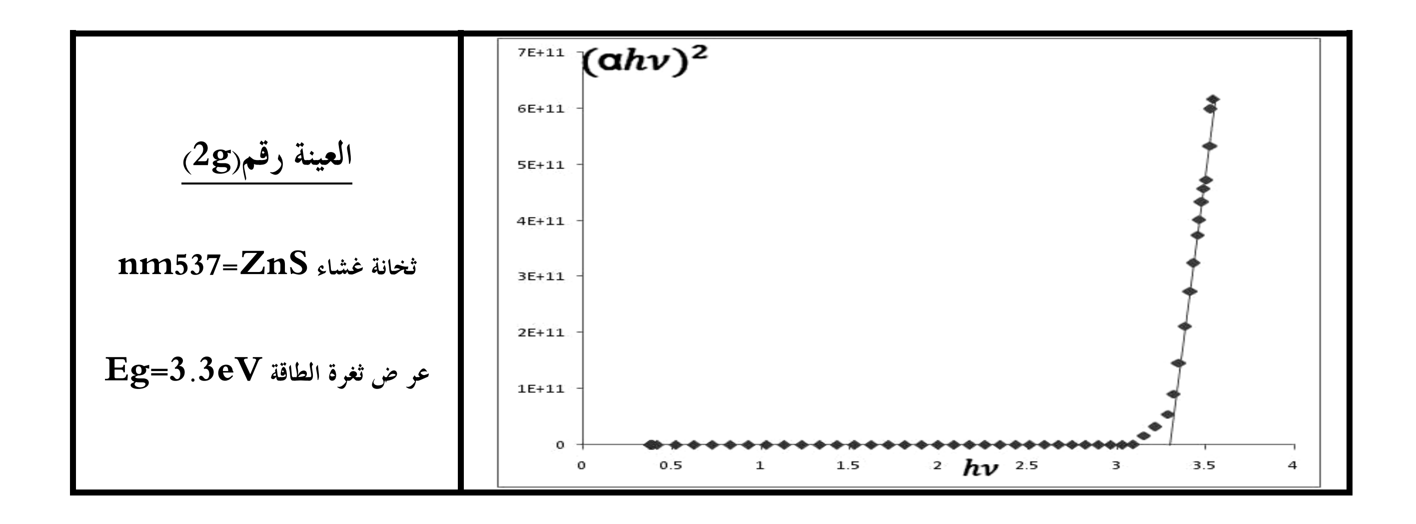
الشكل (5-12) : منحني النفوذية والامتصاصية والانعكاسية للعينة(4)

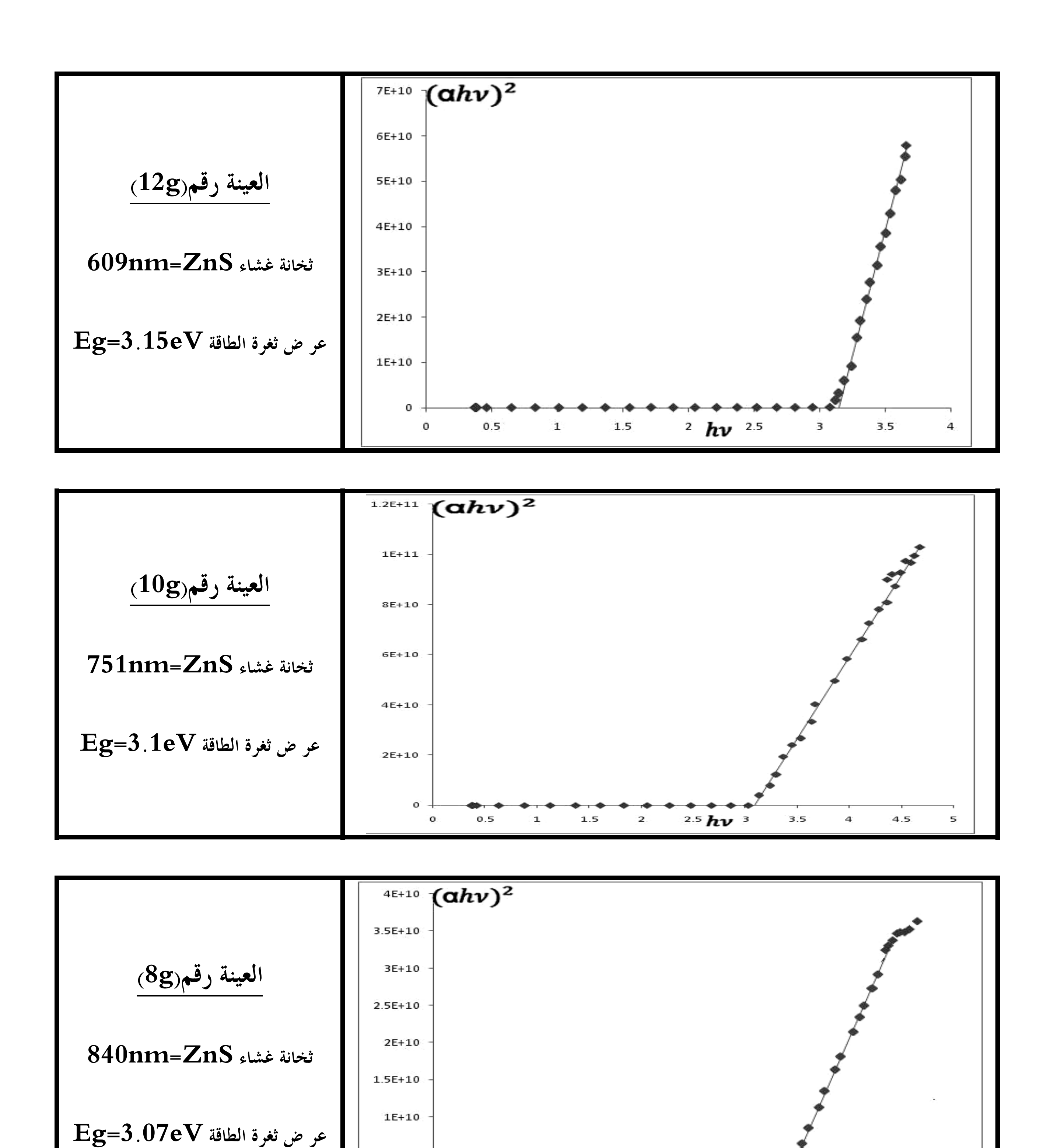
وقد حصلنا لدى التعويض قيمة معامل الامتصاص الجديدة في علاقة آنشتاين، ورسم تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ على الأشكال التالية :

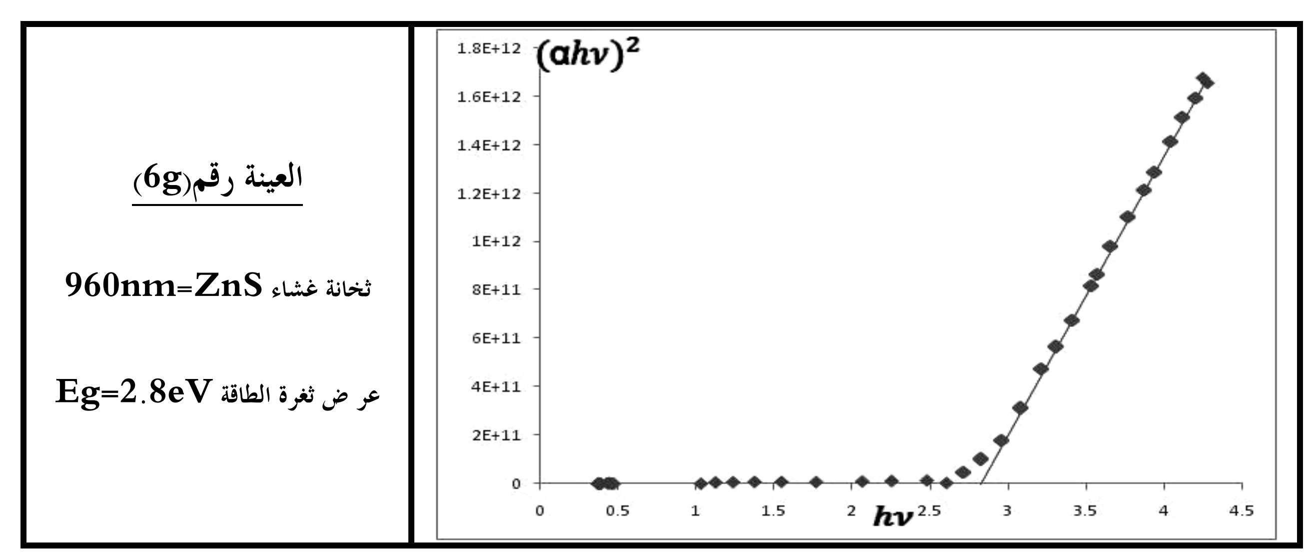



العينة رقم(20g)
ثخانة غشاء 300nm=ZnS
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.75eV
(αhν)²
hν
5E+12
4.5E+12
4E+12
3.5E+12
3E+12
2.5E+12
2E+12
1.5E+12
1E+12
5E+11
0
0 1 2 3 4 5 6 7


العينة رقم(4g)
ثخانة غشاء 499nm=ZnS
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.55eV
(αhν)²
hν
3E+12
2.5E+12
2E+12
1.5E+12
1E+12
5E+11
0
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5


العينة رقم(2g)
ثخانة غشاء nm537=ZnS
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.3eV
(αhν)²
hν
7E+11
6E+11
5E+11
4E+11
3E+11
2E+11
1E+11
0
0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4


العينة رقم(12g)
ثخانة غشاء ZnS=609nm
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.15eV
(αhν)²
hν
العينة رقم(10g)
ثخانة غشاء ZnS=751nm
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.1eV
(αhν)²
hν
العينة رقم(8g)
ثخانة غشاء ZnS=840nm
عر ض ثغرة الطاقة Eg=3.07eV
(αhν)²
hν



الشكل (5–13) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ للعينات ذات الركائز الزجاجية.

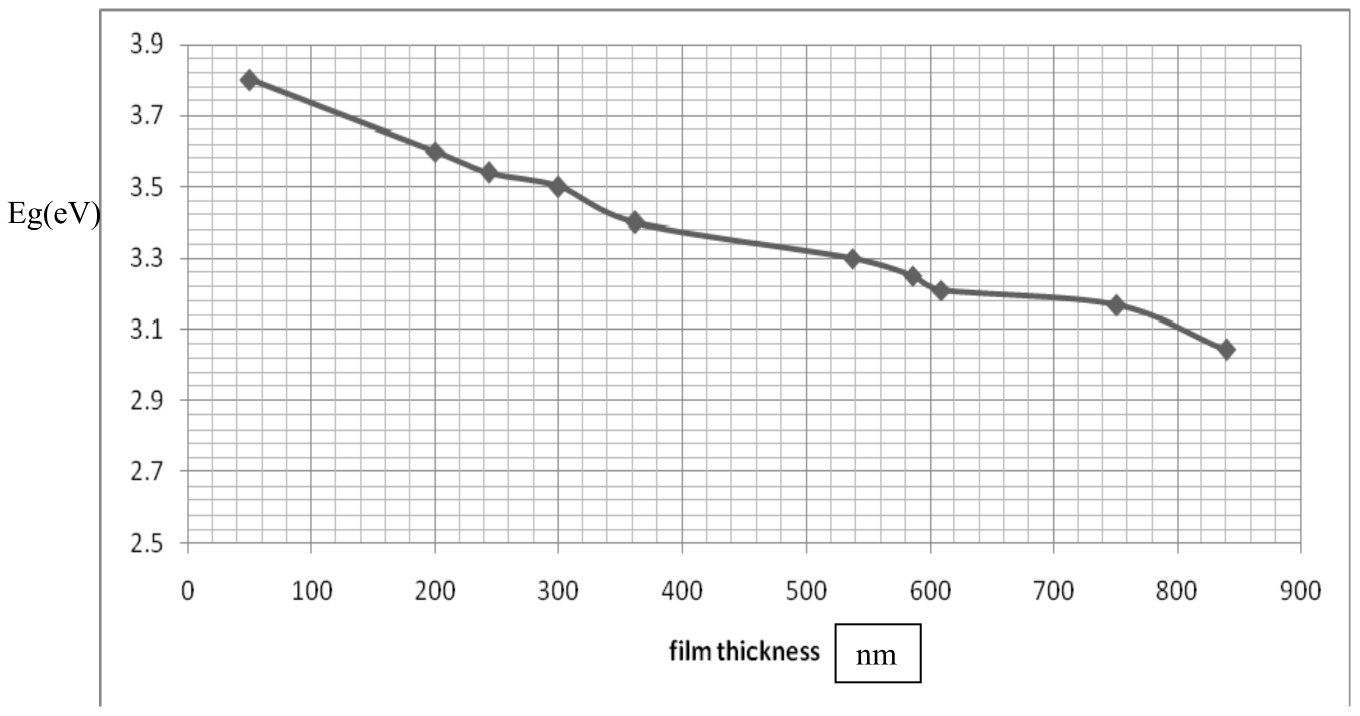
5–1–2–8– تغير عرض ثغرة الطاقة بتغير ثخانة الأغشية الموضعة:

بعد حساب عرض ثغرة الطاقة من منحنيات تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ نعرض النتائج في الجدول (5–12):

عرض ثغرة الطاقة	ثخانة الغشاء	رقم العينة
4.2	50	18g
3.9	200	19g
3.8	243	15g
3.75	300	20g
3.55	499	4g
3.3	536	2g
3.15	608	12g
3.1	750	10g
3.07	839	8g
2.8	960	6g

ومن هذه القيم عند الأخذ بعين الاعتبار وجود الامتصاص نلاحظ أنها توافق القيم في الدراسات المرجعية [39] [33].

وعند رسم تغييرات عرض ثغرة الطاقة بتغير ثخانة الغشاء حصلنا على المنحني الخطي التالي :



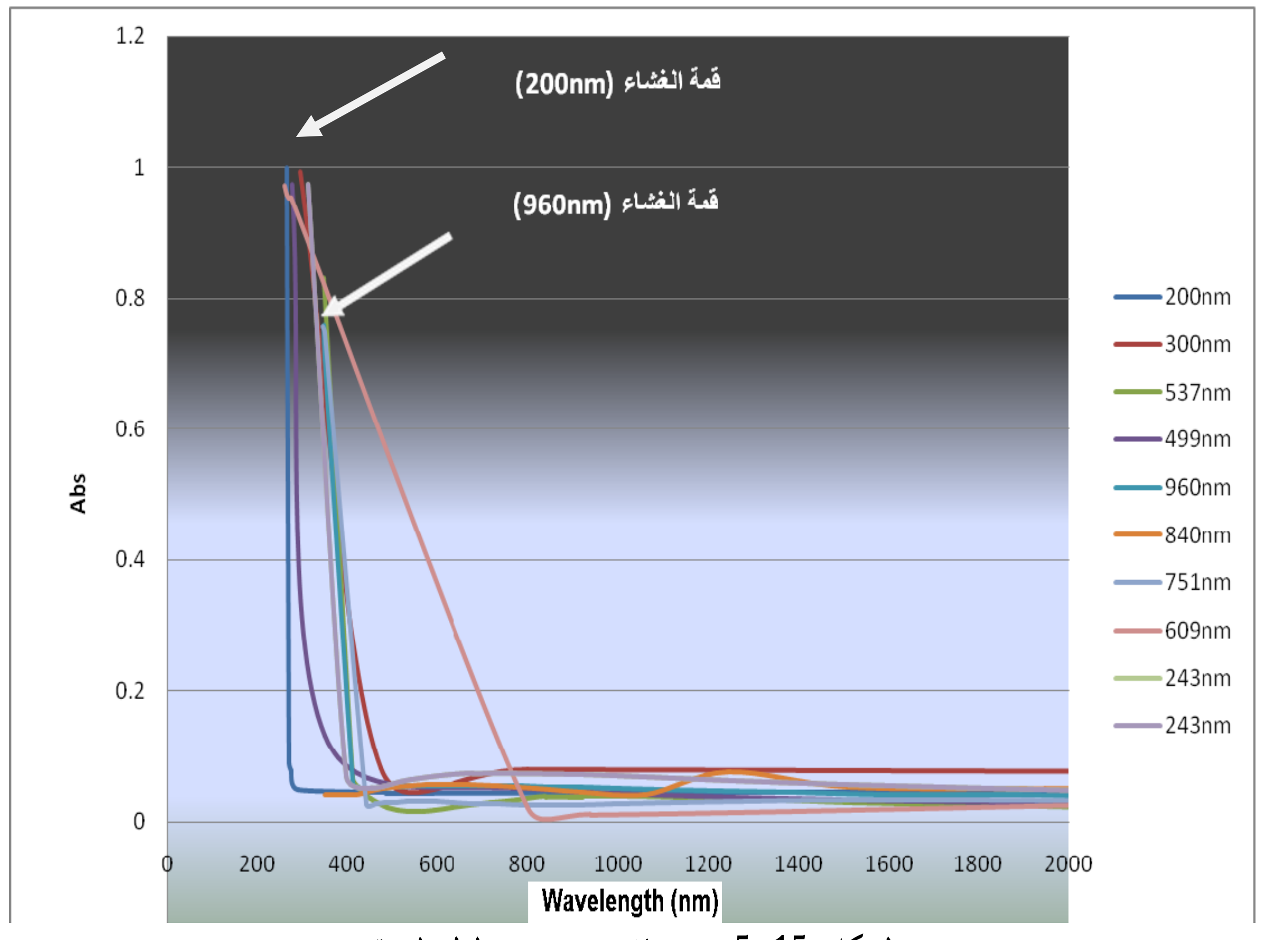
الشكل (5-14) : منحني تناقص عرض ثغرة الطاقة بزيادة ثخانة الغشاء .

بمقارنة الطريقتين في حساب عرض ثغرة الطاقة، نستطيع القول بأن الطريقتين متطابقتان في النتائج بعد ثخانات أكبر من (**400nm**)، بهذه الحالة أهملنا الامتصاص واعتمدنا على الطريقة الأولى.

5-1-2-9- منحنيات الامتصاص بدلالة طول الموجة :

عند قياس طيف الامتصاص للعينات العشر المختارة باستخدام جهاز قياس الطيف حصلنا على المنحنيات التالية في الشكل (5-15) وفيه نلاحظ انخفاضاً بل انعدام امتصاص الأغشية الموضعة بين المرئي وتحت الأحمر، وارتفاعه عالي في المجال فوق البنفسجي، ويلاحظ ظهور قمم امتصاص في جوار $(\lambda = 360nm)$، وانتقال القمم العظمى للامتصاص نحو الأطوال الموجية الأكبر مع زيادة ثخانة الأغشية .

نلاحظ في الشكل (5-15) ظهور أول قمة امتصاص في حالة الغشاء ذي الثخانة (**200nm**) في جوار الطول الموجي (**300nm**) ، وظهور آخر قمة امتصاص للغشاء ذي الثخانة (**960nm**) في جوار الطول الموجي (**400nm**).



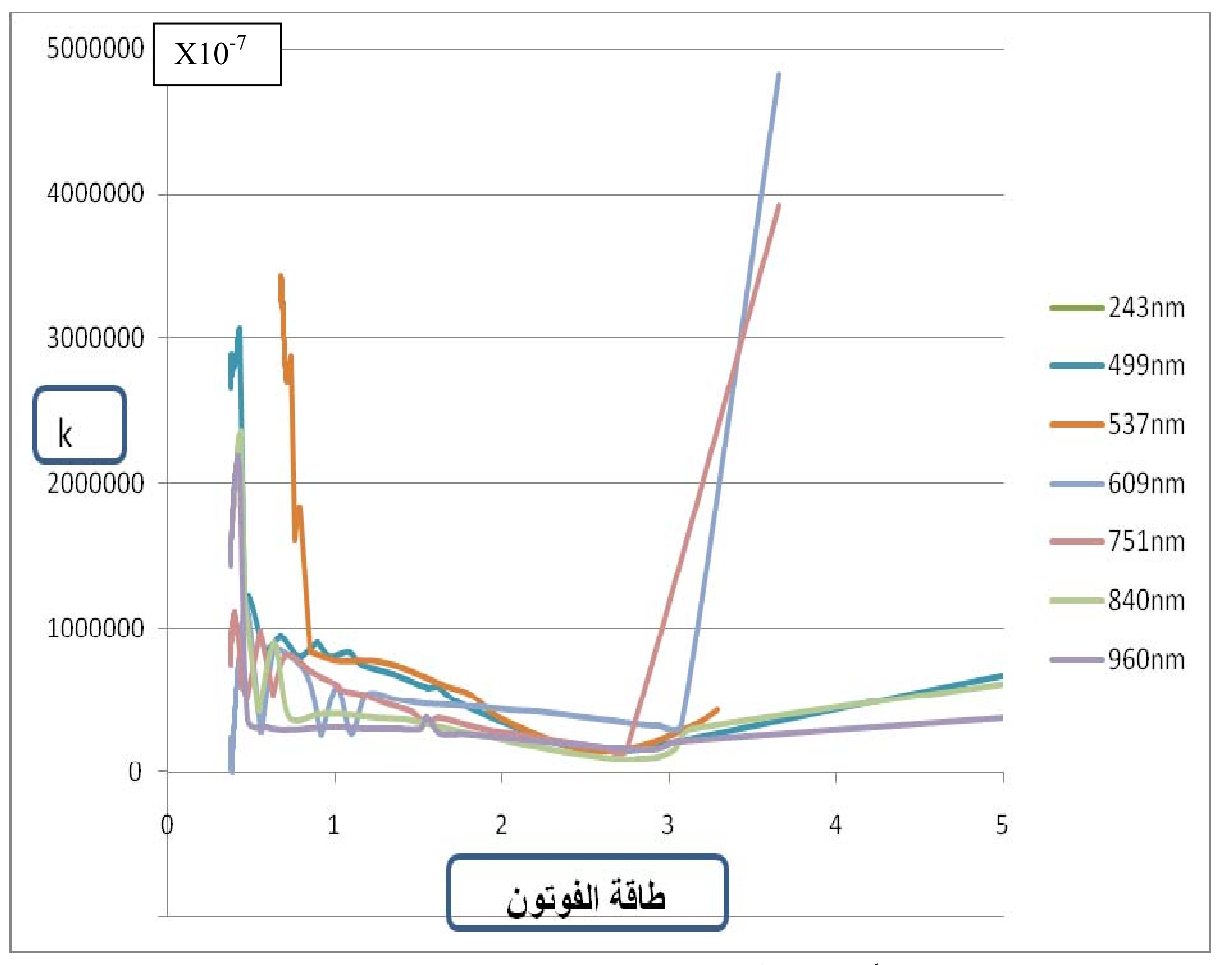
الشكل (5−15): تغير الامتصاص بتغير طول الموجة.

وهذا دليل على انخفاض في عرض ثغرة الطاقة مع زيادة ثخانة الأغشية، إضافة إلى زيادة في الامتصاص بشكل عام نتيجة لزيادة ثخانة الغشاء، حيث تؤدي زيادة الثخانة إلى تواجد ذرات أكثر في الغشاء، وهكذا سيتوفر للفوتون الوارد حالات امتصاص أكثر.

كما لاحظنا ظهور قمم امتصاص صغيرة دون القمة الأساسية وتدل هذه القمم الصغيرة على أن هناك بعض السويات قد وجدت في المنطقة بين عصابة النقل وعصابة التكافؤ، وهذه السويات قد تكون بسبب وجود بعض العيوب في بنية الغشاء.

5−1−2−10− حساب معامل الانطفاء :

بحساب معامل الانطفاء k من العلاقة(2−47) من خلال تعويض قيمة معامل الامتصاص α المحسوبة سابقاً على كامل مجال الطول الموجي λ ، ورسم منحني تغير معامل الانطفاء k بتغير طاقة الفوتون حصلنا على الشكل التالي :

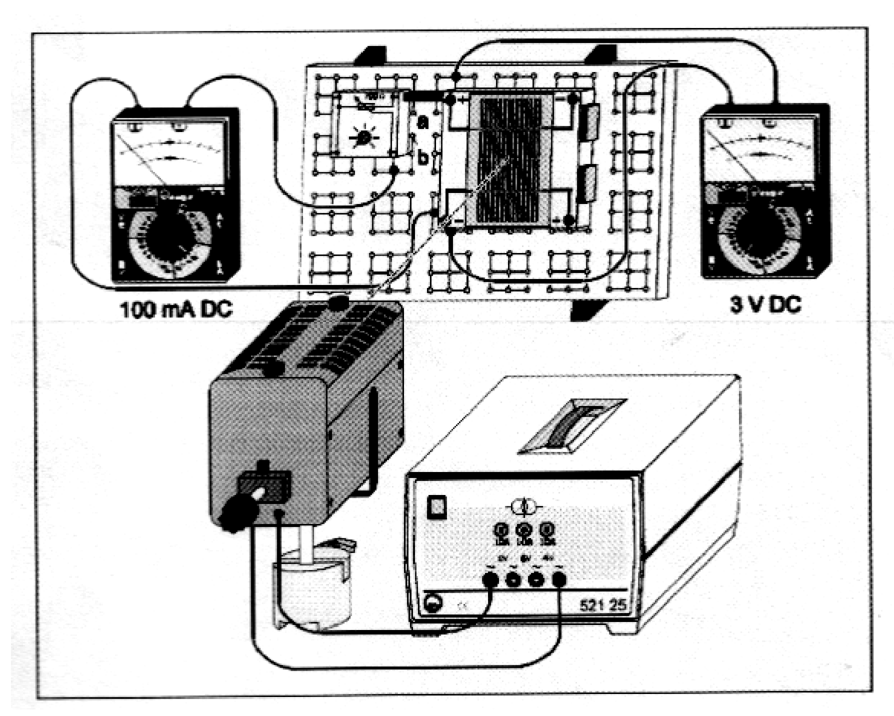


الشكل (**5-16**) : تغير معامل الانطفاء بتغير طاقة الفوتون .

نلاحظ من الشكل السابق تغير معامل الانطفاء بتغير طاقة الفوتون، ويعتمد نقصان وزيادة معامل الانطفاء على اختلاف الامتصاص، حيث يزداد بزيادة الامتصاص المرتبطة بدورها بزيادة معامل الامتصاص الذي يزداد بزيادة ثخانة الأغشية الموضعة . وهذا يتوافق مع المرجع[36].

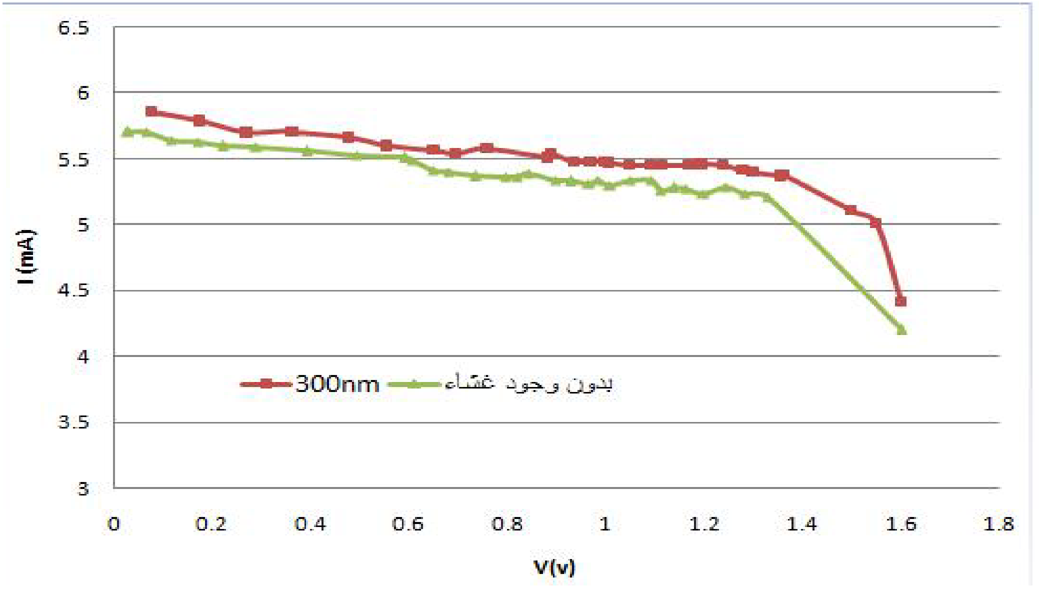
5-1-3-11- دراسة تحسين مردود الخلية الشمسية باستخدام غشاء ZnS:

لدراسة أهمية غشاء ZnS من أجل الخلايا الشمسية قمنا بوصل الدارة الموضحة بالشكل (5-17)، وتتألف من (مقاومة متغيرة تتعدل باستخدام قرص دائري، ومقياس ميلي آمبير، وخلية شمسية من السيليكون ذو البنية المكعبية البسيطة المتعددة التبلور، موصولة كلها على التسلسل، ونضع مقياس ميلي فولط على التفرع بين طرفي الخلية الشمسية، وتضاء الخلية الشمسية بمصباح لتوليد التيار الكهربائي يوضع على جسر حامل). كما في الشكل التالي:



الشكل (17–5): دارة تجربة الخلية الشمسية.

نقيس أولاً كمون الدارة المفتوحة (V_0)، وتيار القطع (I_m)، ثم نبدأ بتغيير المقاومة المعدلة وتسجيل التيار وفرق الكمون في كل مرة (في الحالتين مع وبدون غشاء ZnS) ثم نرسم منحني تغير التيار بتغير فرق الكمون (المنحنيات المميزة للخلية الشمسية) فنحصل على المنحني التالي:

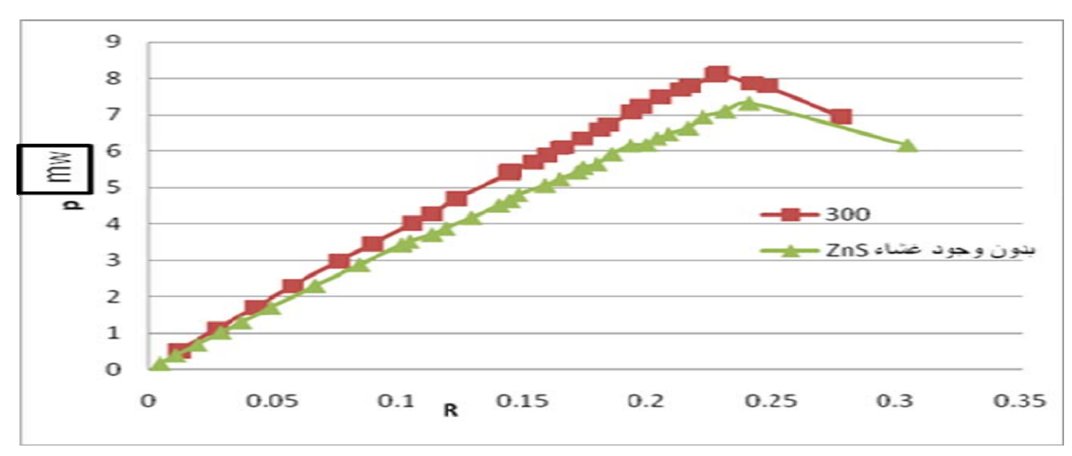


الشكل(18–5): منحني تغير التيار بتغير فرق الكمون للخلية الشمسية.

وبحساب قيمة المقاومة والاستطاعة من أجل كل تغير في المقاومة المعدلة من القانونين التالين:

$$P = V * I \quad و \quad R = \frac{V}{I}$$

حيث **P**: الاستطاعة، و **R** : المقاومة، و **V**: فرق الكمون بين طرفي الخلية الشمسية، **I**: شدة التيار في الدارة، فحصلنا على منحني تغير الاستطاعة بتغير المقاومة في الشكل (**5-19**):



الشكل(**5-19**): منحني تغير الاستطاعة الخلية الشمسية بتغير المقاومة.

في التجربة تم تغطية مساحة معينة من الخلية بقياس (**20mmx40mm**) وعتم على باقي الخلية الشمسية في الحالتين (مع وبدون وجود غشاء **ZnS**) وتمت الدراسة على ثلاثة أغشية بثخانات مختلفة (**50-200-300nm**) .

من المنحني في الشكل (**5-18**) نلاحظ ازدياد تيار الدارة القصيرة للخلية الشمسية (**5.72-5.81-5.86mA**) بعد تغطية الخلية بأغشية **ZnS** بالثخانات السابقة.

كما حسبنا المقاومة الأعظمية والاستطاعة المقابلة لها ومعامل الامتلاء للخلية وتسجيل كل من تيار الدارة القصيرة I_s وكمون الدارة المفتوحة V_0 من أجل غشاء **ZnS** ذو ثخانة (**200nm**) في الجدول(**5-13**) التالي:

العينة	**Vo(V)**	**Is(mA)**	$P_{\max}$	$R_{\max}$	$F = \frac{P_{\max}}{V_0 \times I_S}$	$E_{FF}\,\%$
بدون غشاء **ZnS**	1.88	5.72	7.32	0.24	0.68	10
بثخانة **300nm**	1.884	5.86	8.14	0.23	0.737	11.5

حيث P_{max}: الاستطاعة العظمى، R_{max}: المقاومة العظمى، و **F**: معامل الامتلاء، و E_{FF}: مردود الخلية الشمسية.

ونلاحظ من الجدول: لم يظهر على كمون الدارة المفتوحة V_0 أي تغير ملحوظ قبل وبعد وضع غشاء ZnS فوق الخلية، على الرغم من ازدياد تيار الدارة القصيرة، ومردود الخلية الشمسية، كما نلاحظ زيادة في معامل الامتلاء F.

ملاحظة:

تم وضع غشاء ZnS الموضع على ركائز من الزجاج فوق الخلية بترتيبين:

1- خلية ثم غشاء ZnS ثم الركيزة الزجاجية نحو الخارج.

2- خلية ثم الركيزة الزجاجية ثم الغشاء موجه نحو الخارج .

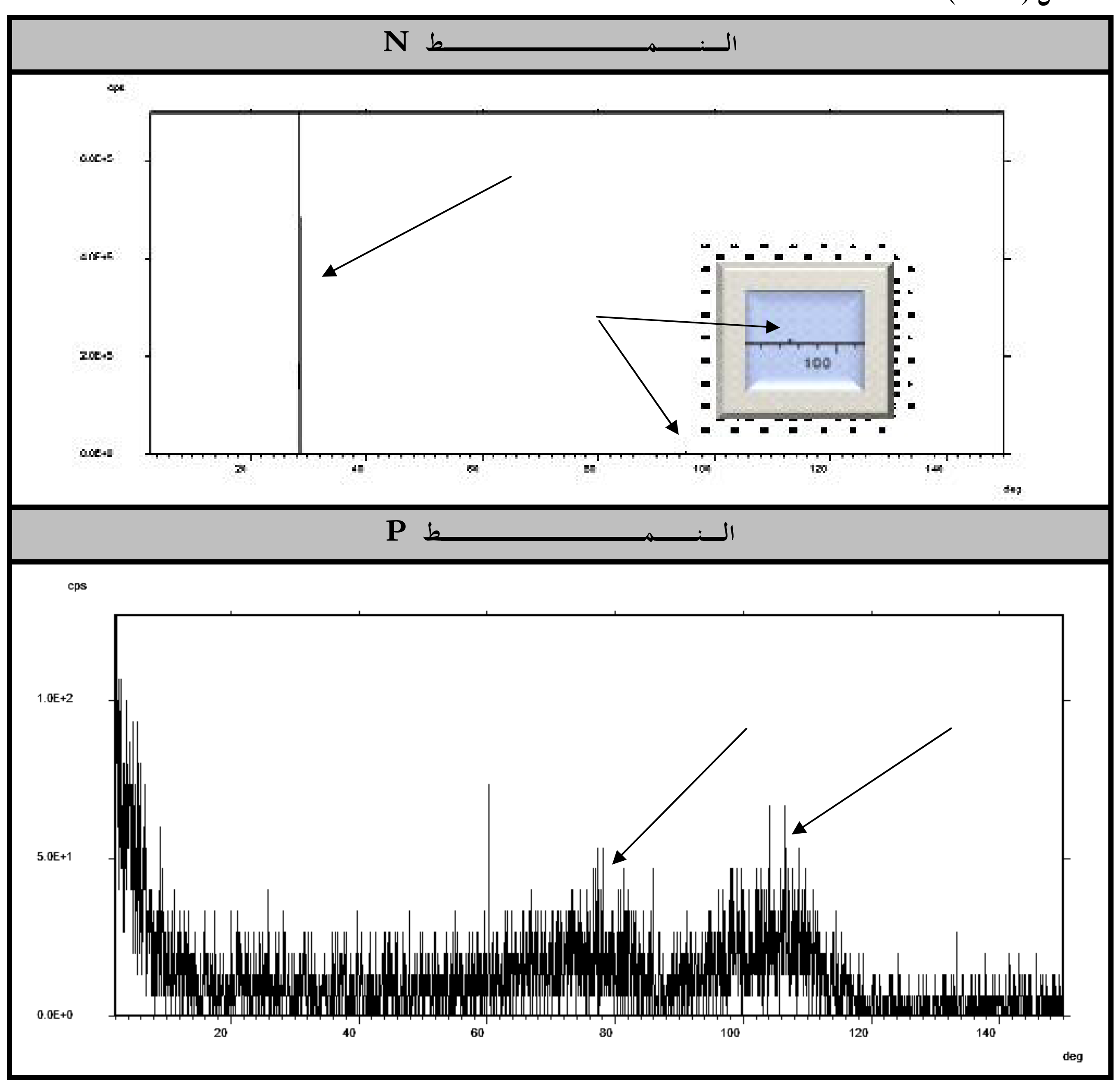
وقد اعطت الحالة الأولى النتائج الأفضل وهي المستخدمة في قياس القيم السابقة كلها، ولم يتم أخذ المنحنيات سوى لغشاء وحيد لا على التعيين كون الهدف هو دراسة جودة غشاء من ZnS كمانع انعكاس للخلية الشمسية المصنوعة من السيليكون وليس دراسة ثخانة الغشاء الأكثر ملائمة للحصول على أفضل مردود للخلية.

5-2- الغشاء ZnS على ركائز سيليكون من النمطين N و P:

5-2-1- الدراسة البنيوية:

5-2-1-1- دراسة البنية البلورية:

قمنا أولاً بدراسة طيف انعراج الأشعة السينية لركائز السيليكون من النمطين N و P، لمعرفة أماكن تواجد قمم انعراج الأشعة السينية للسيليكون وتوجهها البلوري، فحصلنا على طيفي انعراج الأشعة السينية لكل من النمطين N و P في الشكل (5-20):



الشكل (5-20): طيف انعراج الأشعة السينية لركائز السيليكون من النمطين N و P.

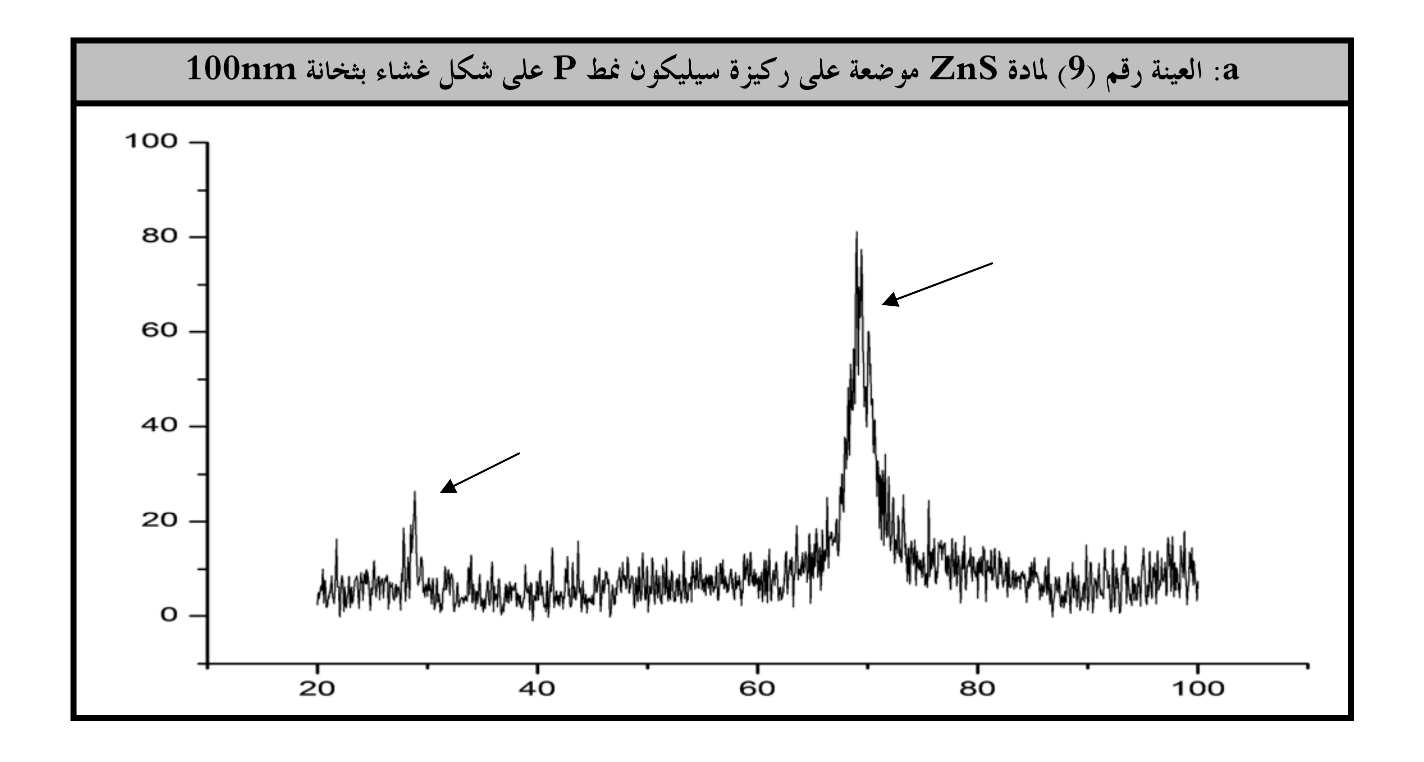
تدل الأسهم على مكان ظهور القمم.

نجد من الشكل (5-20):تظهر لركيزة السيليكون من النمط **N** قمتي انعراج عند الزوايا (94.951^0 -28.443^0)، فهي متعدد البلورة ذو توجه بلوري مفضل هو (**111**) مقابل للزاوية (28.443^0) لبنية مكعبية بسيطة بحسب بيانات الجهاز(**1**) الموجودة في الملحق **2**.

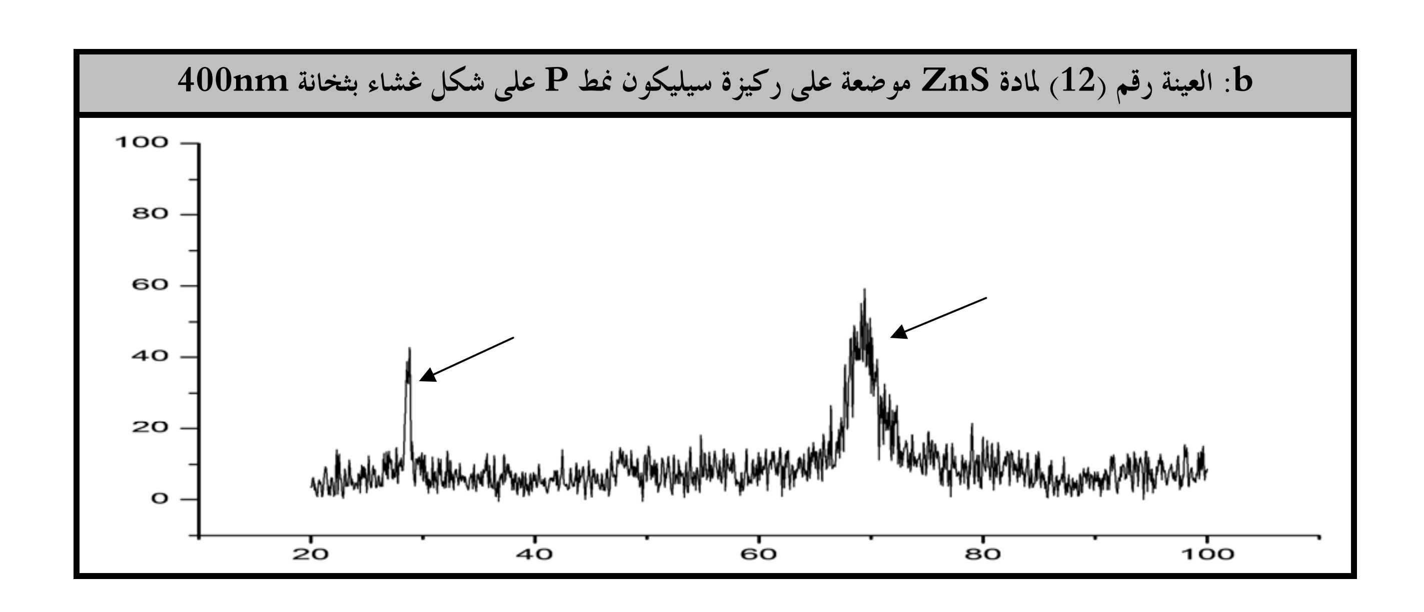
أما الركيزة من النمط **P** لها قمتي انعراج عند الزوايا(108^0 -76.397^0) وهي أيضاً ذات بنية مكعبية بسيطة، حسب بيانات الجهاز (**2**) الموجودة في الملحق (**2**)، وكما نلاحظ وجود مشكلة في الجهاز أثناء القياس سبب التشوه في الطيف مع العلم أن الركائز هي لسيليكون متبلور ويجب أن نحصل في حالة الركيزة **P** على قمم حادة كما في حالة الركيزة **N** مع العلم أن المسح تم لعدة مرات.

<u>ملاحظة</u>: هنالك قمة مشتركة في طيفي انعراج الأشعة السينية بين مادة **ZnS** الجرمية وركيزة السيليكون من النمط **N**، وللتمييز بينهما في الطيف الأغشية الرقيقة لمادة **ZnS** نعلم أن قمة مادة الغشاء (**ZnS**) ستكون أصغر كونه أقل تبلوراً من ركيزة السيليكون.

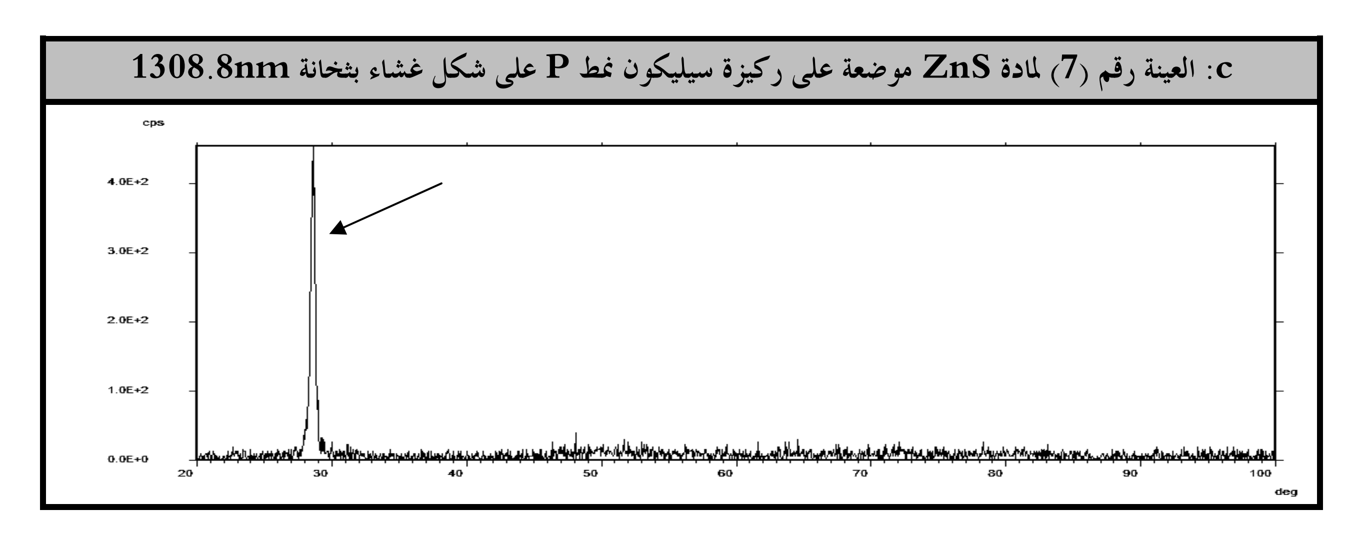
- في الشكل (**5-21**) طيف الأغشية الرقيقة من **ZnS** الموضع على ركائز السيليكون من النمط **P**:



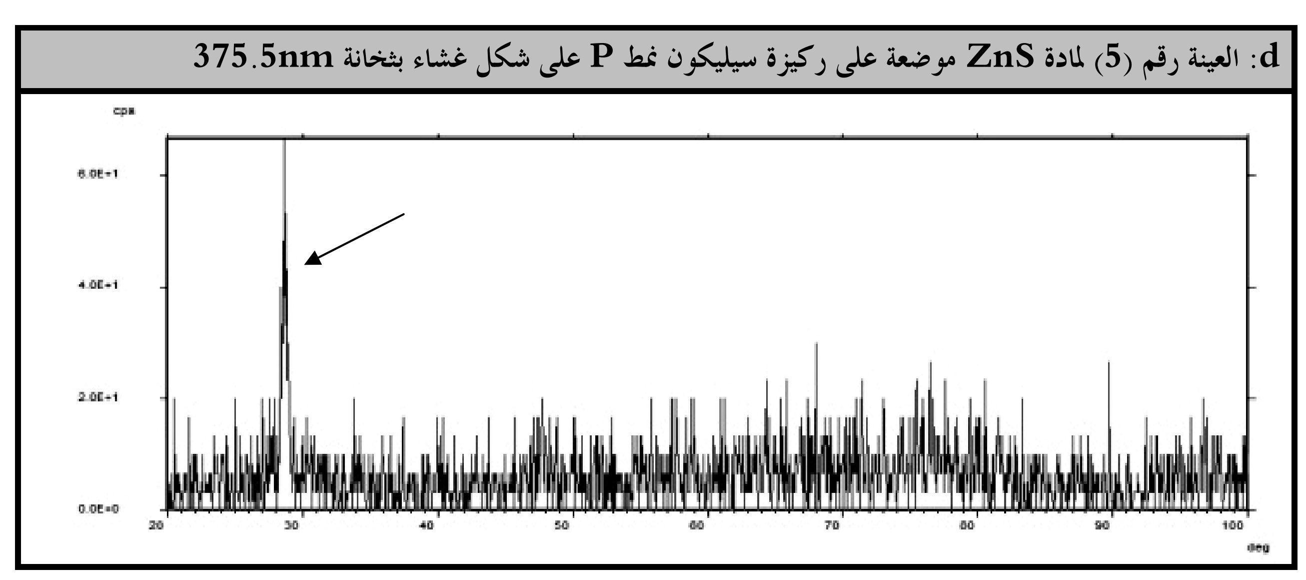
a: العينة رقم (**9**) لمادة **ZnS** موضعة على ركيزة سيليكون نمط **P** على شكل غشاء بثخانة **100nm**



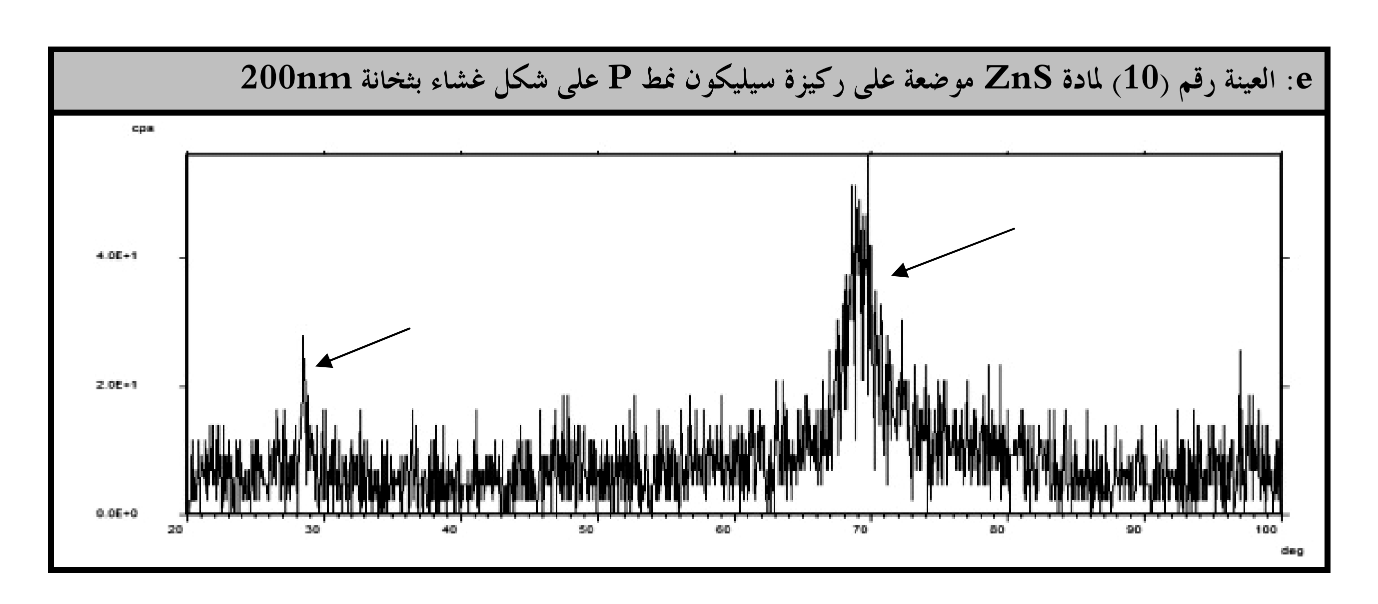
b: العينة رقم (12) لمادة ZnS موضعة على ركيزة سيليكون نمط P على شكل غشاء بثخانة 400nm



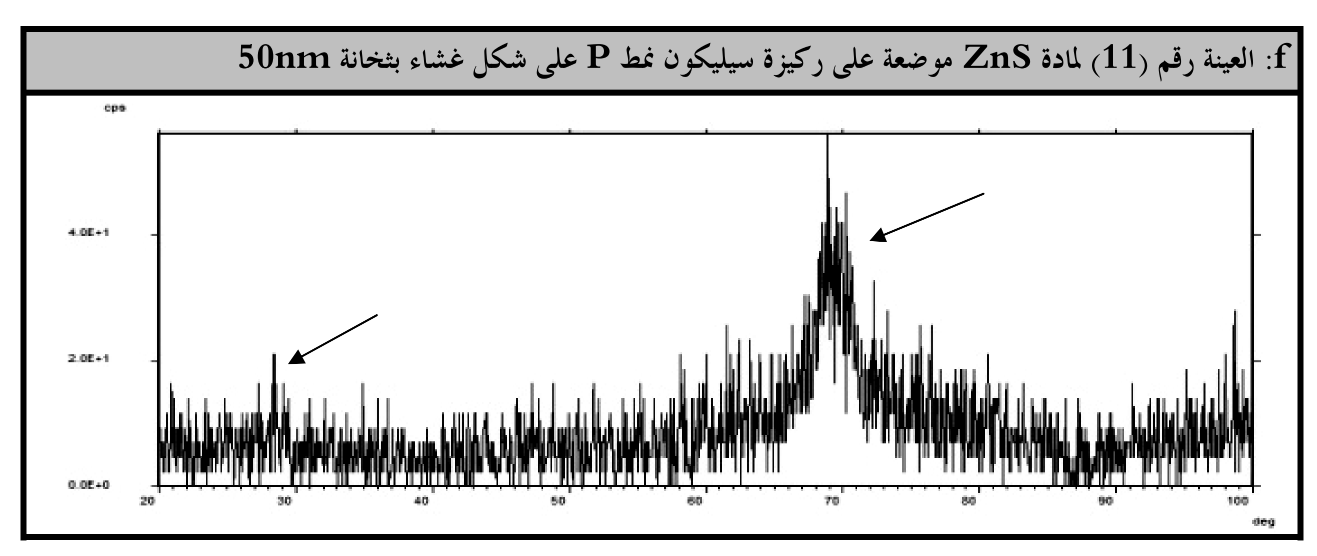
c: العينة رقم (7) لمادة ZnS موضعة على ركيزة سيليكون نمط P على شكل غشاء بثخانة 1308.8nm



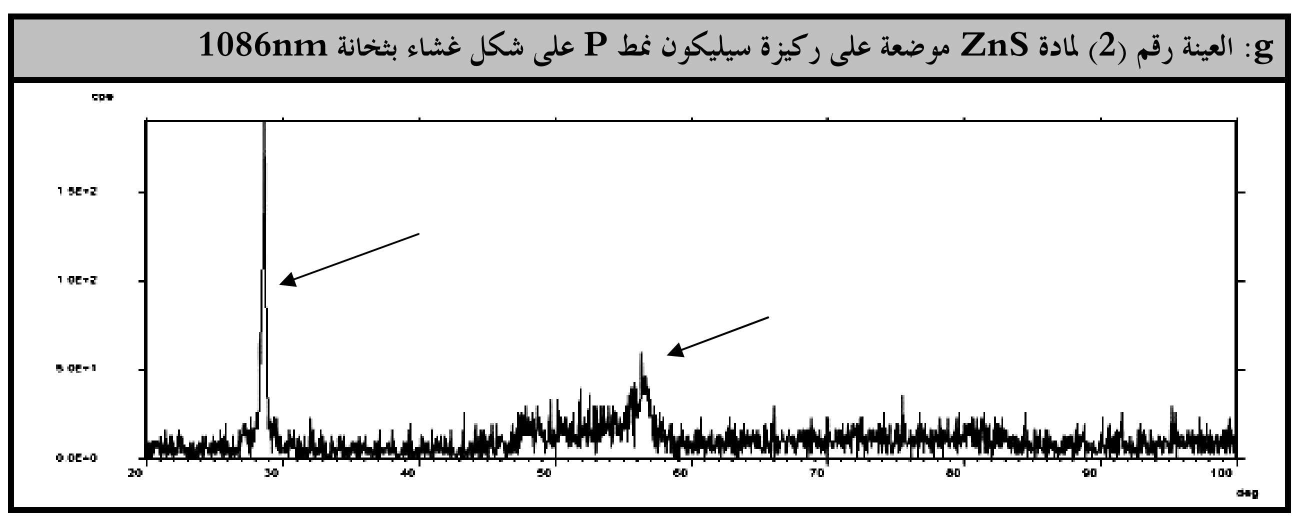
d: العينة رقم (5) لمادة ZnS موضعة على ركيزة سيليكون نمط P على شكل غشاء بثخانة 375.5nm



e: العينة رقم (10) لمادة ZnS موضعة على ركيزة سيليكون نمط P على شكل غشاء بثخانة 200nm



f: العينة رقم (11) لمادة ZnS موضعة على ركيزة سيليكون نمط P على شكل غشاء بثخانة 50nm



g: العينة رقم (2) لمادة ZnS موضعة على ركيزة سيليكون نمط P على شكل غشاء بثخانة 1086nm

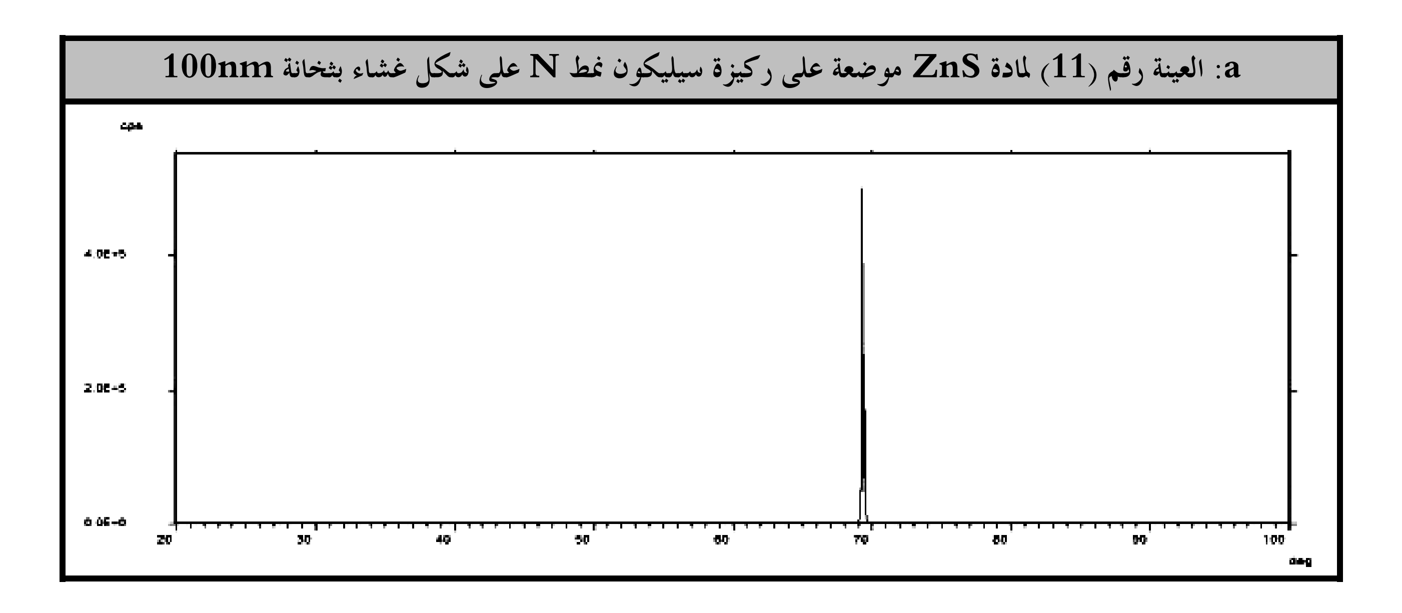
الشكل (5-21): طيف انعراج الأشعة السينية لركائز السيليكون من النمط P.(تدل الأسهم على مكان ظهور القمم.)

لدينا في الشكل(**21–5**) طيف انعراج الأشعة السينية لعدة أغشية من مادة **ZnS** موضعة على ركائز من السيليكون من النمط **P** لها عدة ثخانات مرتبة في الأشكال بالترتيب التالي:
(**100 – 400 – 375 – 1308.88 – 200 – 50 – 1086 nm**)، تظهر بنية مكعبية بسيطة للأغشية.

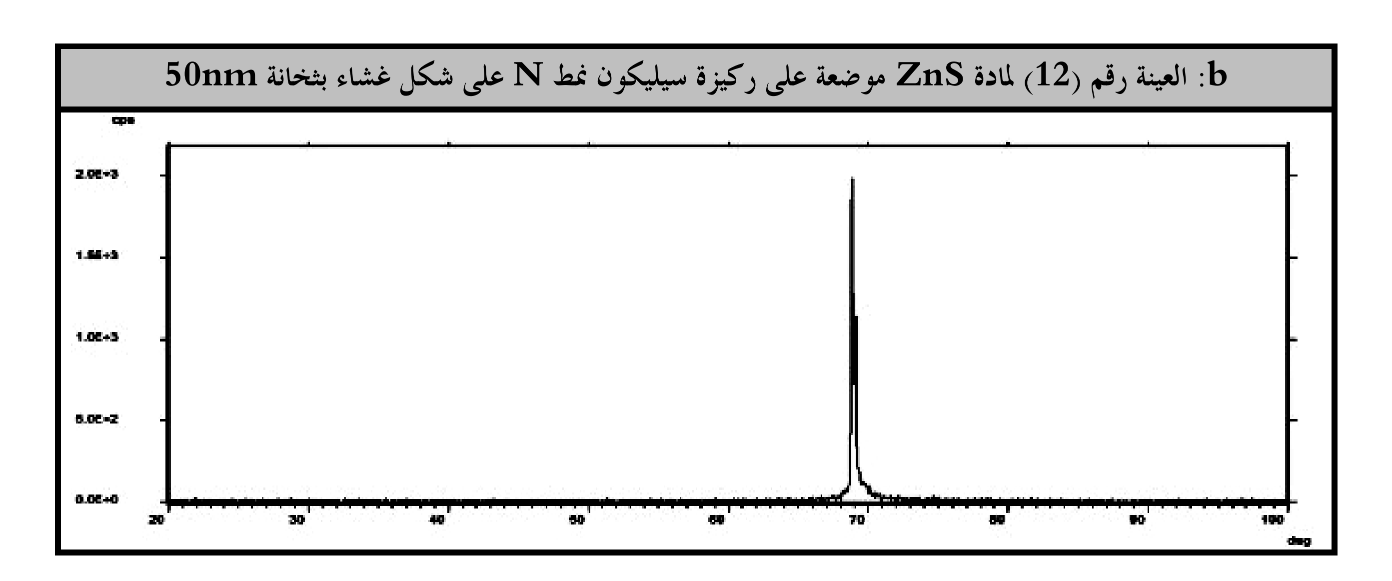
نلاحظ في هذه الأشكال عند الغشاء ذو أصغر ثخانة **50nm** ظهور قمتي انعراج، الأولى صغيرة عند الزاوية (28.5^0) تقابل شدة (شدة) **22** وقمة كبيرة عند الزاوية (69.5^0) بشدة**60**، وتتناقص قيمة الشدة لهذه القمة الكبيرة وتصبح مع زيادة ثخانة الأغشية أكثر حدة، وتزداد شدة القمة الصغيرة عند الزاوية (28.5^0) وحدها مع زيادة ثخانة الأغشية حتى نصل إلى شدة كبيرة للقمة (28.5^0) تصل إلى **200** من أجل غشاء **ZnS** بثخانة (**1086nm**) أي لدينا أغشية متعددة التبلور ذات توجه بلوري مفضل (**400**) تقابل زاوية (69.5^0) من أجل أغشية بثخانات دون **500nm**، ومع زيادة ثخانة أغشية **ZnS** تصبح متعددة التبلور ذات توجه بلوري مفضل (**111**) لبنية مكعبية تقابل الزاوية (28.5^0) من أجل أغشية بثخانات كبيرة.

نلاحظ في غشاء العينة رقم (**7**) ذات الثخانة (**1308.88nm**) ظهور قمة واحدة حادة وشدها كبيرة **400** تدل على بلورة مكعبية بسيطة أحادية التوجه البلوري (**111**).

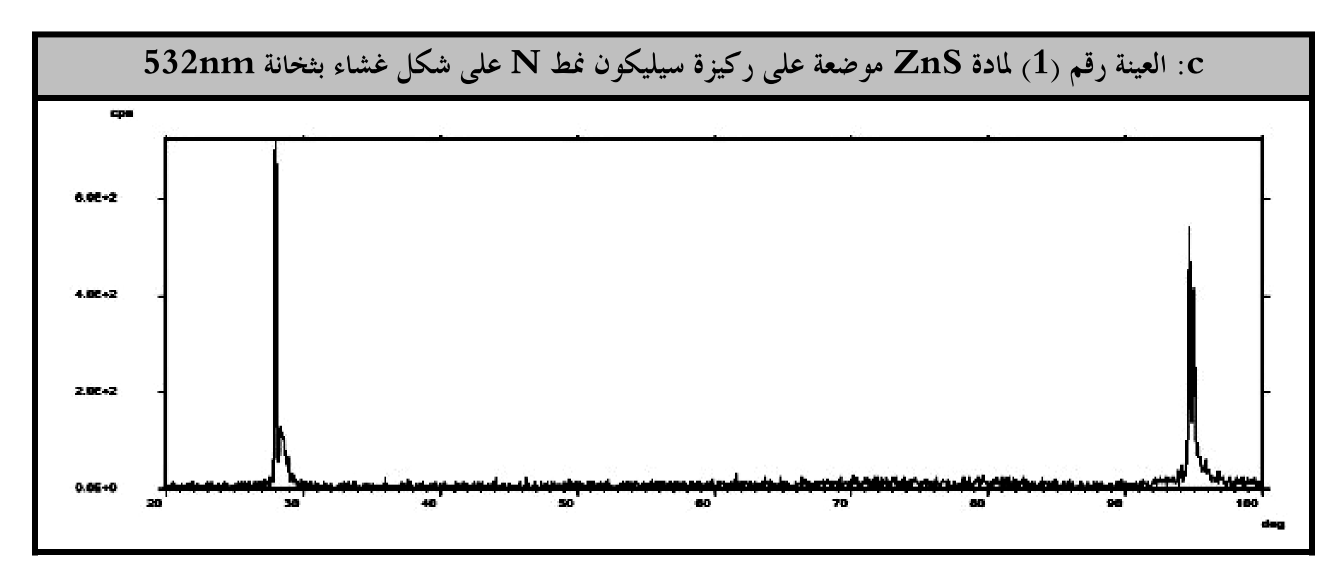
- في الشكل (**22–5**) طيف الأغشية الرقيقة من **ZnS** الموضع على ركائز السيليكون من النمط **N**:



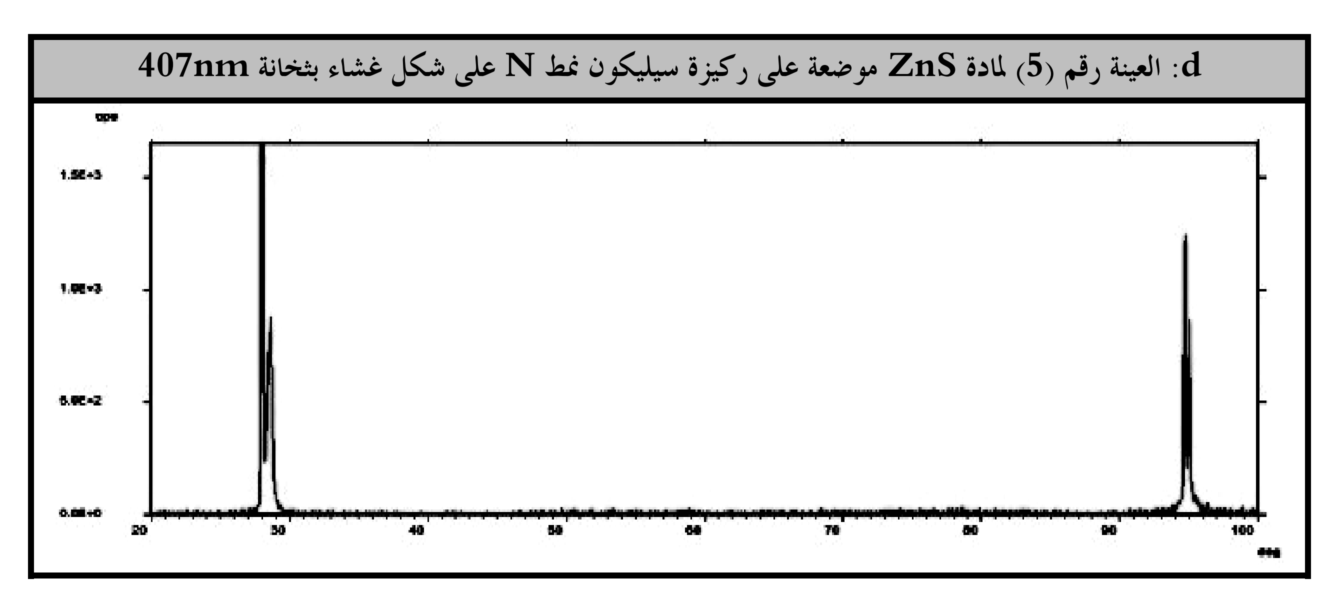
a: العينة رقم (**11**) لمادة **ZnS** موضعة على ركيزة سيليكون نمط **N** على شكل غشاء بثخانة **100nm**



b: العينة رقم (12) لمادة ZnS موضعة على ركيزة سيليكون نمط N على شكل غشاء بثخانة 50nm

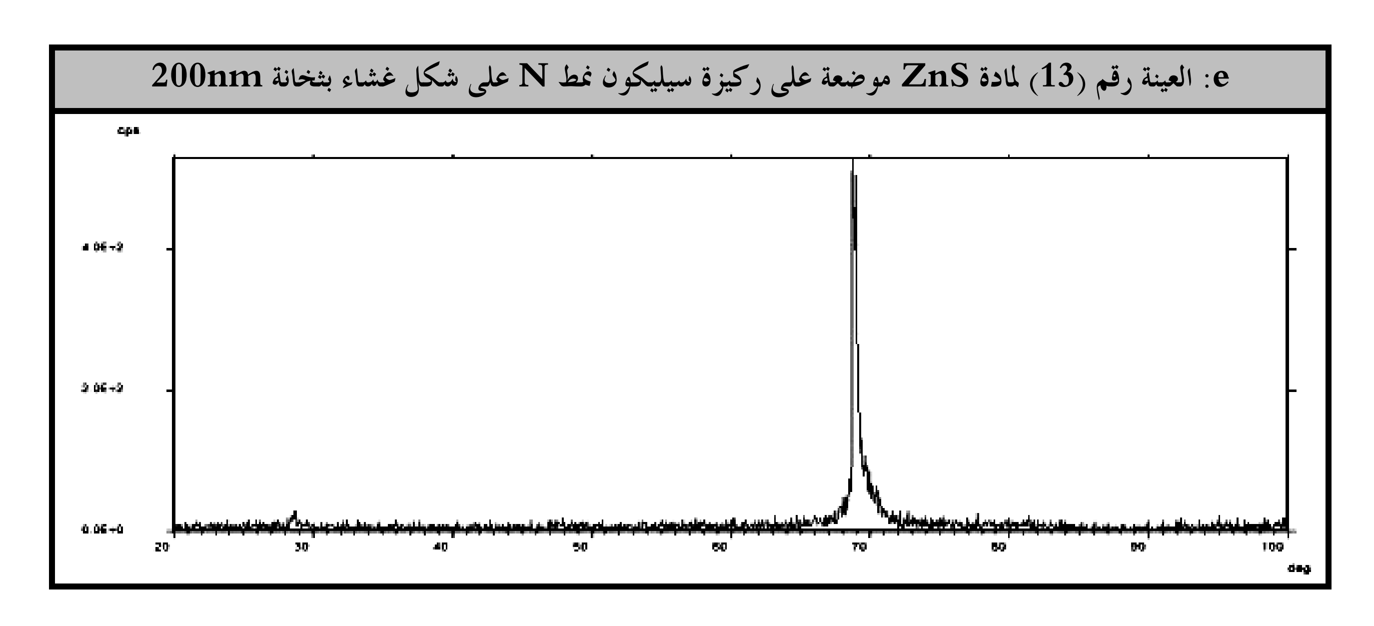


c: العينة رقم (1) لمادة ZnS موضعة على ركيزة سيليكون نمط N على شكل غشاء بثخانة 532nm

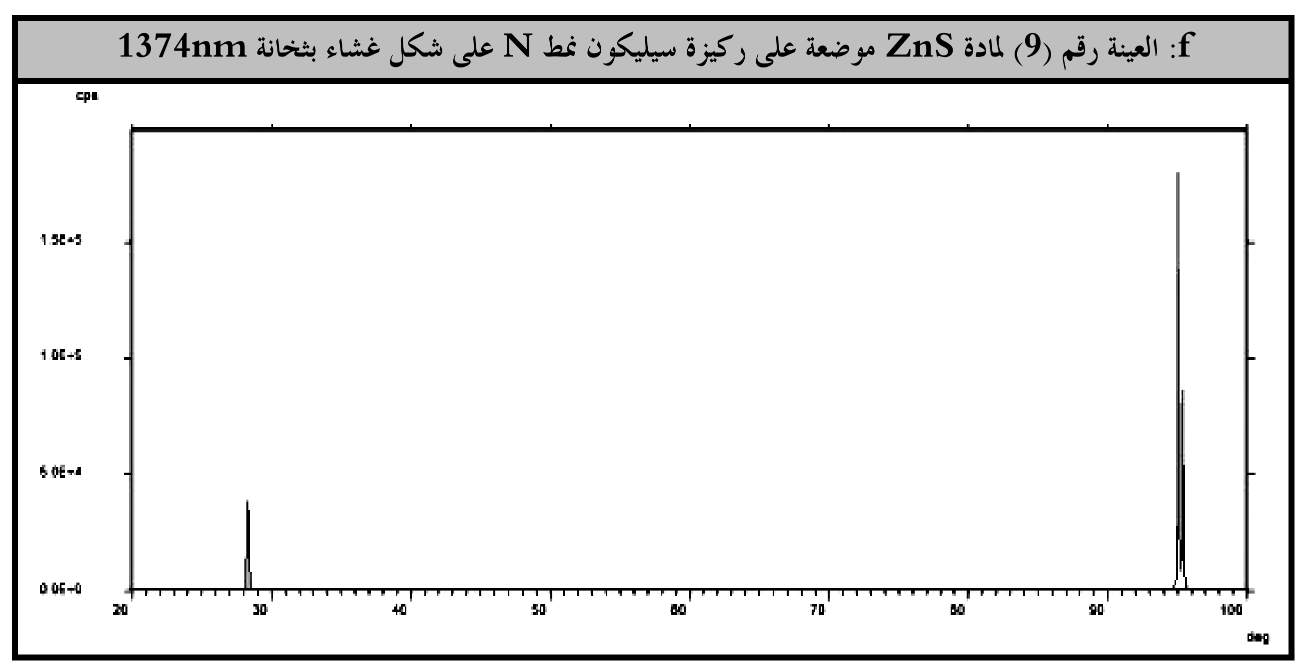


d: العينة رقم (5) لمادة ZnS موضعة على ركيزة سيليكون نمط N على شكل غشاء بثخانة 407nm

e: العينة رقم (13) لمادة ZnS موضعة على ركيزة سيليكون نمط N على شكل غشاء بثخانة 200nm



f: العينة رقم (9) لمادة ZnS موضعة على ركيزة سيليكون نمط N على شكل غشاء بثخانة 1374nm



الشكل (22–5): طيف انعراج الأشعة السينية لركائز السيليكون من النمط N.

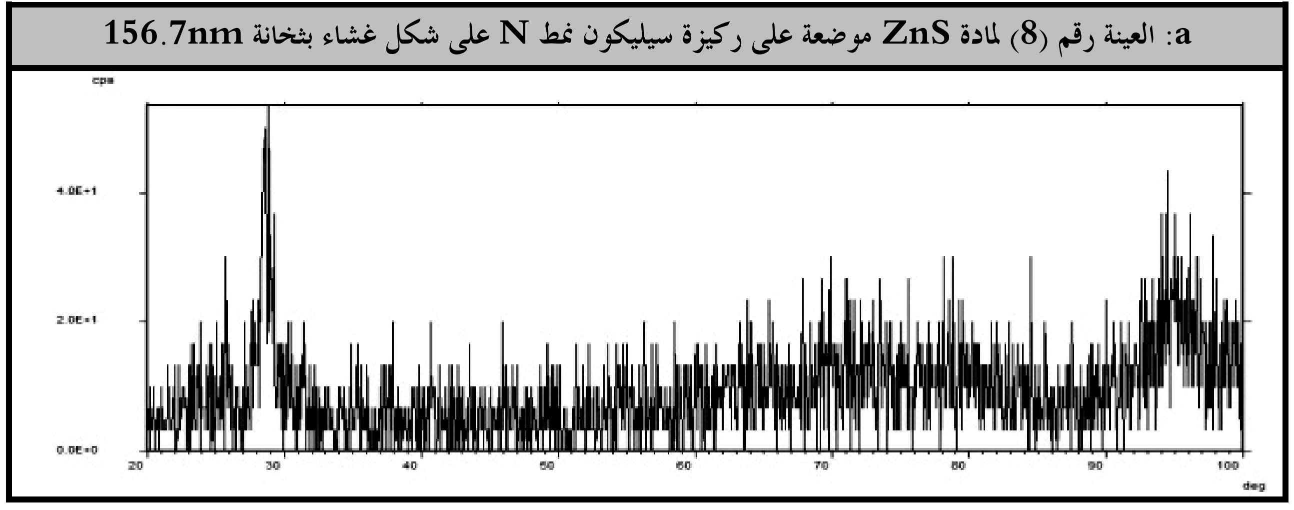
تظهر في أطياف انعراج الأشعة السينية للعينات رقم (13–11–12) التي تملك الثخانات (50–100–200nm) في الشكل (22–5) قمة عند الزاوية (69.5^0) تزداد حدة وضيق مع زيادة الثخانة دليل على أن أغشية ZnS ذات بنية مكعبية بسيطة بتوجه بلوري (400)، حيث أن هذه القمة هي قمة مميزة للطور المكعب البسيط (β–ZnS) وغيابها دليل على أن البنية سداسية، مع العلم أن هنالك قمم مشتركة بين البنيتين مثل القمم عند الزوايا (28.5^0) و(95.5^0) ، إضافة

إلى ظهور نتوء صغير عند الزاوية (28.5^0) في طيف الانعراج للعينة رقم **13** وهي ظهور لقمة عند هذه الزاوية تم تخطيها بسبب المسح السريع.
(تم القفز عن بعض القمم بسبب كبر الخطوة(2θ)).

وتظهر قمتا انعراج في أطياف العينات رقم (**9–5–1**) للشكل (**22–5**) عند الزاويتين (28.5^0) و(95.5^0) اللتين تقابلان التوجه البلوري (**111**) و (**511**)، وهذا دليل على أن بنية الأغشية للعينات السابقة هي بنية سداسية متعددة التبلور ذات توجه بلوري مفضل هو(**111**) عند العينات رقم **1**و**5**، وذات توجه بلوري مفضل عند العينة رقم **9** ذات الثخانة الأكبر، وقد تم التأكيد على أن بنية هذه العينات هي سداسية (α–**ZnS**) نظراً لظهور القمم المشتركة بين بنيتي مادة **ZnS** وغياب القمة المميزة للطور المكعبي البسيط عند الزاوية (69.5^0).

ونلاحظ أنه مع زيادة ثخانة الغشاء تزداد القمتان حدة وشدة دليل على زيادة التبلور ومع الثخانات الكبيرة نلاحظ أن شدة قمة الزاوية (95.5^0) وتصبح أكبر بكثير من قمة (28.5^0).

- كما حصلنا على طيف انعراج لغشاء **ZnS** غير متبلور بشكل جيد في الشكل (**23–5**):



الشكل (**23–5**): طيف انعراج الأشعة السينية لغشاء **ZnS** غير متبلور وضّع على ركيزة سيليكون من النمط **N**.

ويعزى ذلك إلى شروط تجريبية غير جيدة أثناء تحضير الأغشية، حيث حدثت عدة مشاكل تجريبية أثناء تحضير الأغشية كانقطاع الكهرباء، أو فصل الجهاز نتيجة ارتفاع ضغط الحجرة.

ملاحظة:

- وجود القمة العريضة في المنحنيات يعزى إلى كون الغشاء غير متبلور بشكل جيد أو كونه غشاء نانوي أو احتمال وجود تلوث في تركيبة الغشاء إما بسبب مواد التنظيف أو بقايا المواد الموضعة سابقاً داخل حجرة التوضيع .

- وجود القمم عند الزوايا(27,30.5,39.5,52) يدل على كون البنية سداسية$(\alpha - ZnS)$ و غيابها يدل على أن البنية المكعبية $(\beta - ZnS)$ [41]

- نلاحظ من منحنيات الطيف أنه تتواجد قمم مشتركة بين البنية المكعبية والبنية السداسية، ولكن غياب القمة (30.5) المميزة للبنية السداسية يحسم الأمر إلى كون البنية مكعبية بسيطة، إضافة إلى ظهور القمة (32.5) المميزة للبنية المكعبية .[32]

- **ألوان الأغشية تتغير بتغير الثخانات :**

اللون مائل للأخضر لغشاء بثخانة **100nm**، لون بنفسجي مائل للأزرق للثخانة **200nm**، لون بني ممتزج مع البنفسجي للثخانة **50nm**، لون وردي للثخانة **400nm**، حيث يتبع لون الأغشية لأبعاد الحبيبات البلورية، ولكن أبعاد الحبيبات البلورية يزداد بدوره بزيادة ثخانة الغشاء، فمن أجل كل ثخانة نحصل على بنية تمتص الألوان وتعكس أحداها مما يجعل الغشاء يتلون بذلك اللون.
وقد جرت مقارنة في المرجع [11] بين الثخانات والألوان الناتجة عنها تمكننا من معرفة ثخانة الغشاء من لونه .

5-2-1-2- حسابات بنيوية:

1- حساب أبعاد الحبيبات البلورية :

➢ باستخدام علاقة **Debye Scherrer** : $L = \frac{0.9\lambda}{\beta Cos\theta}$

التي تم شرح طريقة تطبيقها في الفقرة(5−1−1−2)،حيث حسب أبعاد الحبيبات البلورية عند الزاوية (28.5^0) التي حسب عندها تعريض الجهاز، فحصلنا على قيم أبعاد الحبيبات البلورية لأغشية **ZnS** الموضعة على ركائز سيليكون من النمط **P** في الجدول (**5−14**)التالي:

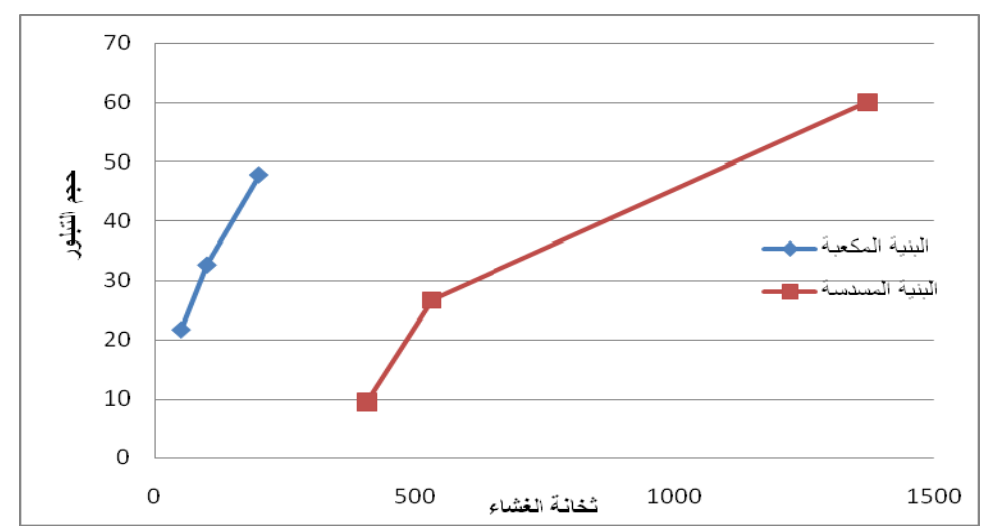
رقم العينة	9Si(P)	12 Si(P)	7 Si(P)	5 Si(P)	10 Si(P)	11 Si(P)	2 Si(P)
الثخانة (nm)	100	400	1309	375	200	50	1086
(rad)β_a	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
(rad)β_m	0.019	0.014	0.006	0.009	0.021	0.054	0.007
(rad)β	0.0189	0.014	0.005	0.008	0.021	0.054	0.006
أبعاد الحبيبات البلورية L (nm)	7	10	28	17	6	3	25

وبالتالي نستنتج من قيم الجدول السابق أن أغشية **ZnS** الموضعة على ركائز السيليكون من النمط **P**، والتي تملك بنية مكعبية بسيطة، يزداد حجم تبلورها من القيمة (**3nm**) في حالة أصغر ثخانة للغشاء (**50nm**) حتى القيمة (**28nm**) في حالة أكبر ثخانة غشاء (**1309nm**).

كما حصلنا على قيم أبعاد الحبيبات البلورية لأغشية **ZnS** الموضعة على ركائز سيليكون من النمط **N** في الجدول (**5−15**)التالي:

رقم العينة	11 Si(N)	12 Si(N)	1 Si(N)	5 Si(N)	13 Si(N)	9 Si(N)
الثخانة (nm)	100	50	532	407	200	1374
(rad)β_a	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
(rad)β_m	0.006	0.008	0.006	0.015	0.005	0.004
(rad)β	0.005	0.008	0.005	0.015	0.003	0.002
أبعاد الحبيبات البلورية L (nm)	33	22	27	9	48	60

ويظهر فيه أن قيم أبعاد الحبيبات البلورية لأغشية العينات (13-11-12) ذات البنية البلورية المكعبية (β-ZnS) أكبر من قيم أبعاد الحبيبات البلورية للعينات (9-1-5) ذات البنية السداسية (α-ZnS)، أي أن البنية المكعبية لأغشية ZnS تملك حبيبات أكبر حجماً من حبيبات البنية السداسية في حالة الثخانات الصغيرة، حيث تبلغ أبعاد الحبيبات البلورية (27nm) من أجل الثخانة (523nm) ذات البنية السداسية في حين تكون أبعاد الحبيبات البلورية لغشاء ذي الثخانة الأصغر (100nm) للبنية المكعبية (33nm)، وتظهر هذه المقارنة في الشكل (5-24) التالي:



الشكل (5-24):مقارنة زيادة أبعاد الحبيبات البلورية بزيادة ثخانة غشاء ZnS بين البنيتين المكعبية و السداسية.

2- حساب عامل الانفعال:

حسبنا عامل الانفعال (ε) strain من العلاقة: $\varepsilon = \frac{\beta Cos\theta}{4}$ ، فمن أجل الأغشية الموضعة على ركائز سيليكون من النمط P حصلنا على النتائج في الجدول(5-16) التالي:

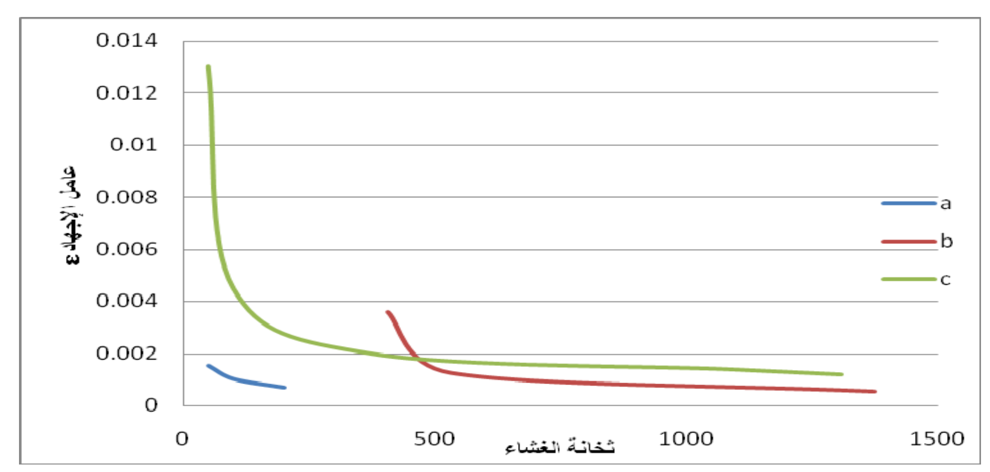
رقم العينة		9 Si(P)	12 Si(P)	7 Si(P)	5 Si(P)	10 Si(P)	11 Si(P)	2 Si(P)
الثخانة (nm)		100	400	1308.8	375.5	200	50	1086
سيليكون من نمط P	ε	0.0045	0.0033	0.0012	0.002	0.005	0.013	0.0014

نلاحظ تناقص عامل الانفعال مع زيادة ثخانة غشاء ZnS حيث يساوي من أجل (50nm) أصغر ثخانة مدروسة للغشاء (0.013) ويتناقص إلى قيمة (0.0012) من أجل أكبر ثخانة مدروسة للغشاء (1308.8nm).

ومن أجل أغشية ZnS الموضعة على ركائز سيليكون من النمط N حصلنا على النتائج في الجدول (17–5) التالي:

رقم العينة		11 Si(N)	12 Si(N)	1 Si(N)	5 Si(N)	13 Si(N)	9 Si(N)
الثخانة (nm)		100	50	532	407	200	1374
سيليكون من نمط N	ε	0.0009	0.002	0.0013	0.0036	0.0004	0.0006

و لمقارنة الاختلاف في عامل الانفعال بين أغشية ZnS الموضعة على ركائز السيليكون من النمطين Nو p، نرسم المنحني التالي:



الشكل(26–5): تغير عامل الانفعال مع تغير ثخانة الأغشية.

(a):أغشية ZnSموضعة على ركائز سيليكون N ذات بنية مكعبية بسيطة، (b): أغشية ZnSموضعة على ركائز سيليكون N ذات بنية سداسية، (c): أغشية ZnSموضعة على ركائز سيليكون P ذات بنية مكعبية.

نلاحظ من الشكل(26–5) أن عامل الانفعال يكون أخفض ما يمكن عندما نوضع غشاء ZnS على ركيزة سيليكون من النمط N و تكون بنية الغشاء مكعبية بسيطة، و يكون أكبر بقليل عند الأغشية الموضعة على ركائز سيليكون من النمط N ذات بنية سداسية، أما عندما نوضع غشاء على ركائز سيليكون من النمط P يكون عامل الانفعال أكبر ما يمكن.

3- كثافة عدم التموضع (الانخلاعات):

حسبت كثافة عدم التموضع من العلاقة: $\delta = \frac{1}{L^2}$. فمن أجل الأغشية الموضعة على ركائز سيليكون من النمط **P** حصلناعلى النتائج في الجدول(**5-18**) التالي:

رقم العينة		9 Si(P)	12 Si(P)	7 Si(P)	5 Si(P)	10 Si(P)	11 Si(P)	2 Si(P)
الثخانة (**nm**)		100	400	1308.8	375.5	200	50	1086
سيليكون من نمط **P**	(Lin/nm ^{2}) **δ**	0.018	0.009	0.0013	0.0036	0.022	0.15	0.0016

حيث تتناقص كثافة عدم التموضع من القيمة (**0.15**) إلى القيمة (**0.0013**) عندما تزداد ثخانة الغشاء من (**50nm**) إلى (**1308.8nm**).

ومن أجل أغشية **ZnS** الموضعة على ركائز سيليكون من النمط **N** حصلنا على النتائج في الجدول (**5-19**) التالي:

رقم العينة		11 Si(N)	12 Si(N)	1 Si(N)	5 Si(N)	13 Si(N)	9 Si(N)
الثخانة (**nm**)		100	50	532	407	200	1374
سيليكون من نمط **N**	(Lin/nm ^{2}) **δ**	0.001	0.0016	0.0014	0.0113	0.0007	0.0002

تتناقص كثافة عدم التموضع في حالة العينات ذات البنية المكعبية البسيطة (13،11،12) من (0.0016) إلى (0.0007) عندما تتناقص ثخانة الأغشية المدروسة من (50nm) إلى (200nm)، بينما تتناقص كثافة عدم التموضع في حالة العينات ذات البنية السداسية (5،1،9) من (0.0113) إلى (0.0002) عندما تتناقص ثخانة الأغشية المدروسة من (407nm) إلى (1374nm).

وكمقارنة بين كثافة عدم التموضع في حالة الأغشية ذات النبية المكعبية والسداسية الموضعة على ركائز السيليكون من النمطN وحالة الأغشية ذات البنية المكعبية الموضعة على ركائز السيليكون من النمط P ، نجد أن كثافة عدم التموضع تكون أصغر ما يمكن في حالة أغشية ZnS الموضعة على ركائز السيليكون من النمط N و ذات البينة المكعبية.

وذلك يعطي أفضلية لتوضيع أغشية **ZnS** ذات بنية مكعبية على ركائز سيليكون من النمط**N** .

- كما يمكن حساب أبعاد الحبيبات البلورية من العلاقة:

$$\Delta Eg = 2.77x10^{-35} X^{2} - 3.47x10^{-28} X$$

حيث **X**: يمثل مقلوب أبعاد الحبيبات البلورية**L**. أي $X = \frac{1}{L}$. و ΔEg : التغير في قيمة عرض ثغرة الطاقة بين الجسم الصلب والغشاء الرقيق: $\Delta Eg = Eg(bulk) - Eg(thin)$. مع العلم أن قيمة عرض ثغرة الطاقة للجسم الصلب من مادة **ZnS** (**Eg=3.6eV**).

الجدول (**5–20**): قيم أبعاد الحبيبات البلورية لأغشية **ZnS** الموضعة على ركائز سيليكون من النمط **N**

رقم العينة (**N**)	**3 Si(N)**
ثخانة الغشاء	**529**
عرض ثغرة الطاقة (**eV**) $Eg(thin)$	**3.8**
(**eV**) ΔEg	**0.2**
(**nm**) **L**	**35**
δ(Lin/nm ^{2})	**0.0008**

نلاحظ أن قيم أبعاد الحبيبات البلورية هنا أخفض من قيم أبعاد الحبيبات البلورية المحسوب من علاقة ديباي تشرر، ويعزى الاختلاف في القيم المحسوبة من العلاقتين إلى التقريبات في العلاقتين، إضافة إلى الخطأ في تقدير قيمة البارامترات الرئيسية في العلاقة.

وكذلك الأمر في حالة أغشية **ZnS** الموضعة على ركائز السيليكون من النمط **P** المحسوبة في الجدول التالي:

الجدول(**5–21**): قيم أبعاد الحبيبات البلورية لأغشية **ZnS** الموضعة على ركائز سيليكون من النمط **P**

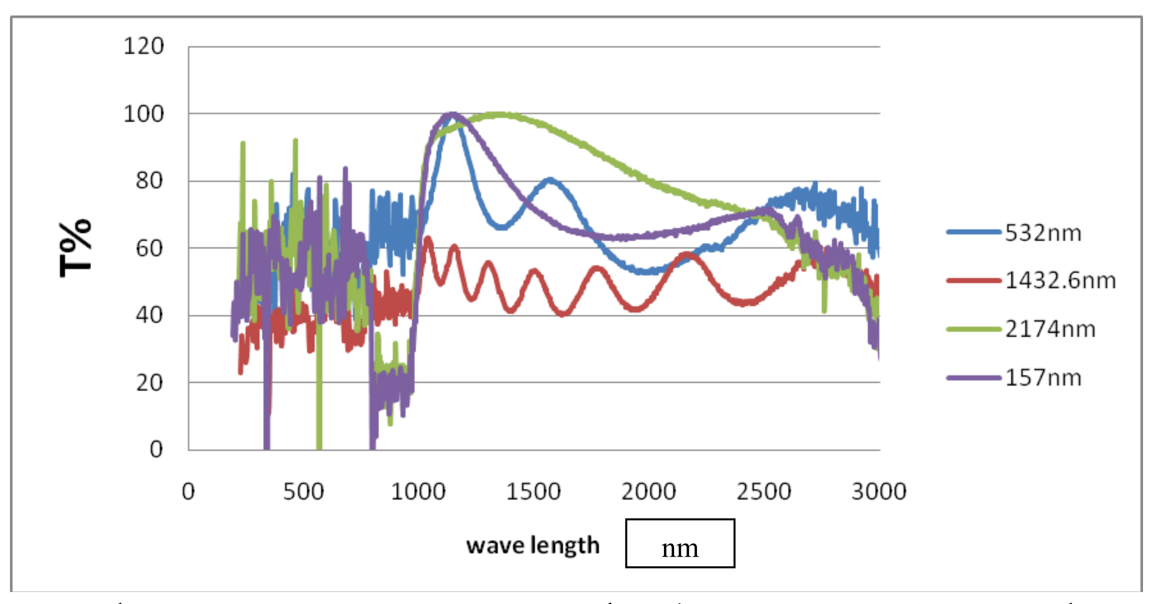
رقم العينة(**P**)	**4 Si(P)**
ثخانة الغشاء	**489.2**
عرض ثغرة الطاقة (**eV**) $Eg(thin)$	**3**
(**eV**) ΔEg	**0.6**
(**nm**) **L**	**2**
δ(Lin/nm ^{2})	**0.25**

- خطط مستقبلية: دراسة الثخانة الحدية بين ظهور الطورين، أو شروط ظهور كل من الطورين وتأثير هذين الطورين على الخواص الضوئية لأغشية **ZnS**.

5-2-2- الدراسة الضوئية للأغشية الموضعة على ركائز السيليكون (حالة الطبقات غير العاكسة) :

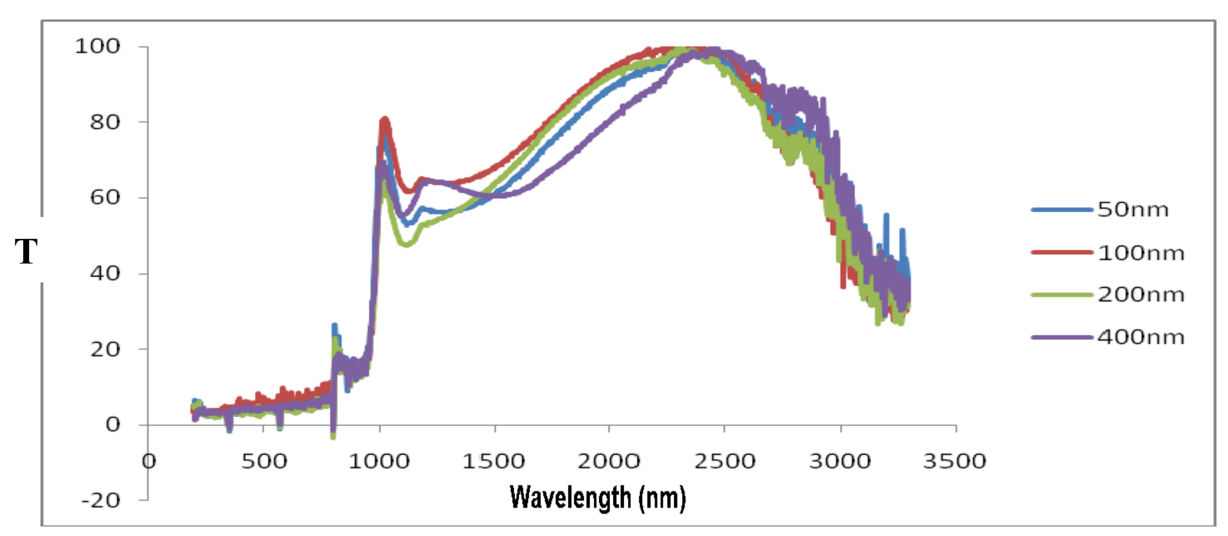
5-2-2-1- النفوذية الضوئية للأغشية الموضعة :

عند دراسة طيف النفوذية الضوئية للأغشية الموضعة على ركائز السيليكون من النمط **N** حصلنا على أطياف النفوذية :



الشكل (**5-27-a**): منحني النفوذية من أجل الأغشية المختلفة الثخانة الموضعة على ركائز السيليكون**N**

ونلاحظ في منحنيات الشكل (**5-27-a**) (لركائز سيليكون من النمط **N**) ظهور تشويش في المجال المرئي لطيف النفوذية بسبب وجود عطل في الجهاز في حساس القياس للطيف المرئي. أما في الشكل (**5-27-b**) (لركائز سيليكون من النمط **P**) نلاحظ غياب طيف النفوذية في المجال المرئي نظراً لكون مادة الركيزة (السيليكون **Si**) غير نفوذة في المجال فوق البنفسجي والمرئي و نافذ في المجال تحت الأحمر.



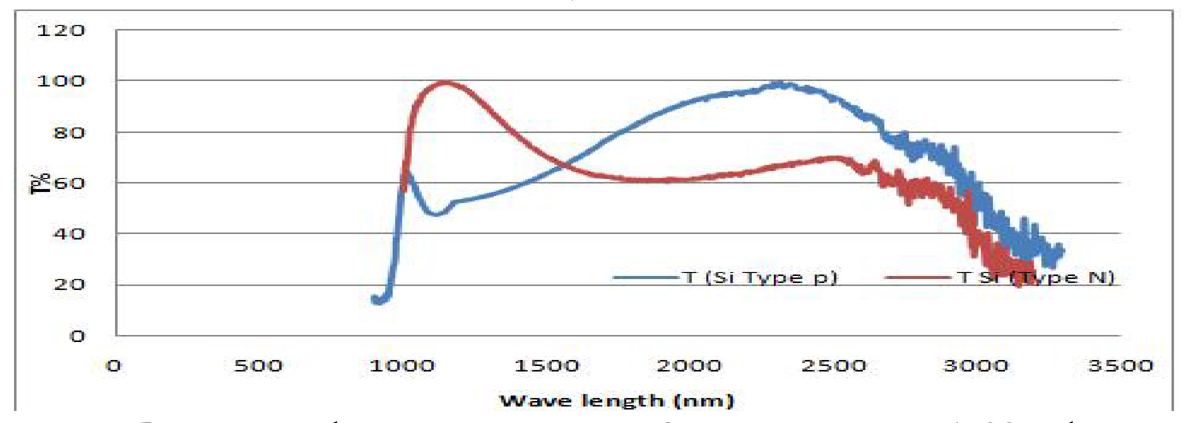
الشكل (b–27–5): منحني النفوذية من أجل الأغشية المختلفة الثخانة الموضعة على ركائز السيليكونP

نلاحظ من طيف النفوذية للأغشية الرقيقة الموضعة المسجل بمقياس الطيف أن أطياف النفوذية للأغشية تعطي نفوذية مرتفعة وهذا مهم في حالة التطبيقات الضوئية .

مقارنة بين غشائي ZnS موضعين على ركائز سيليكون من النمطين N,P:

من أجل ثخانة غشاء 200nm

في الشكل منحنيا نفوذيةلأغشية **ZnS** موضعين على ركيزيتي سيليكون الأولى من النمط **N** ، والثانية من النمط **P**.

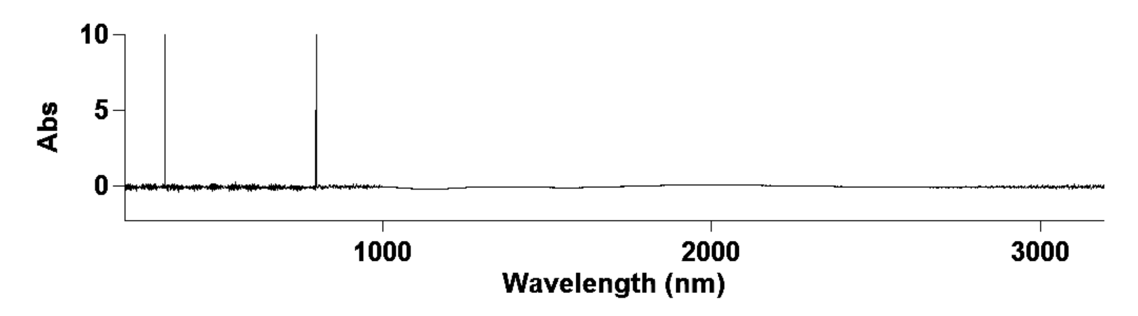


الشكل (28–5): منحنيا نفوذية لغشاءين **ZnS** موضعين على ركيزتي سيليكون من النمطين **N,P**.

نلاحظ من الشكل أن غشاء **ZnS** يمكن أن يدخل في تركيب كواشف الأشعة تحت الحمراء القريبة عندما يوضع على ركيزة سيليكون من النمط **N**، وكاشف للأشعة تحت الحمراء المتوسطة عندما يوضع على ركيزة سيليكون من النمط **P**.

5-2-2-2- منحنيات الامتصاص لأغشية ZnS الموضعة على ركائز السيليكون:

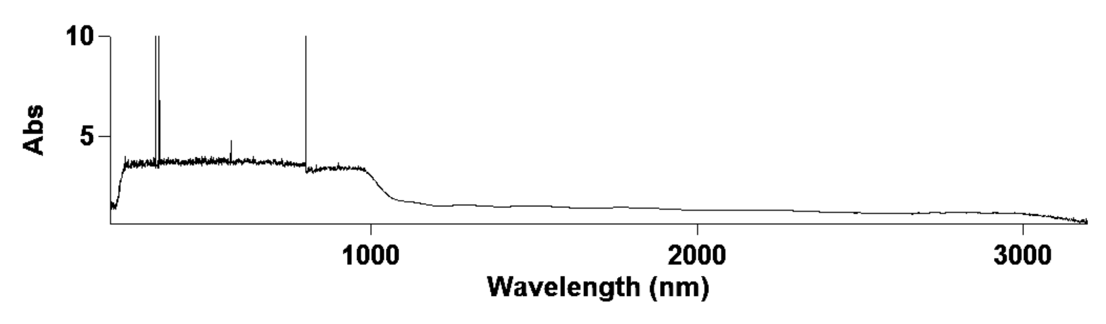
عند دراسة طيف الامتصاص للعينات أغشية ZnS الموضعة على ركائز السيليكون من النمط N، وجدنا أن امتصاصية الأغشية منخفضة ومهملة في كامل المجال الطيفي وفي الشكل التالي مثال:



الشكل (5-29): طيف امتصاص غشاء ZnS الموضع على ركيزة سيليكون من النمط N

مع ظهور قمتي امتصاص في بداية المجال المرئي و نهايته تختلفان في شدتيهما بحسب ثخانة الغشاء.

أما عند دراسة طيف امتصاص أغشية ZnS الموضعة على ركائز السيليكون من النمط P يظهر هنالك امتصاص كبير ملحوظ في مجال الطيف المرئي، مع ظهور قمم امتصاص في بداية ونهاية المجال المرئي، إضافة إلى غياب الامتصاص تقريباً في المنطقة تحت الحمراء، والشكل التالي كمثال:

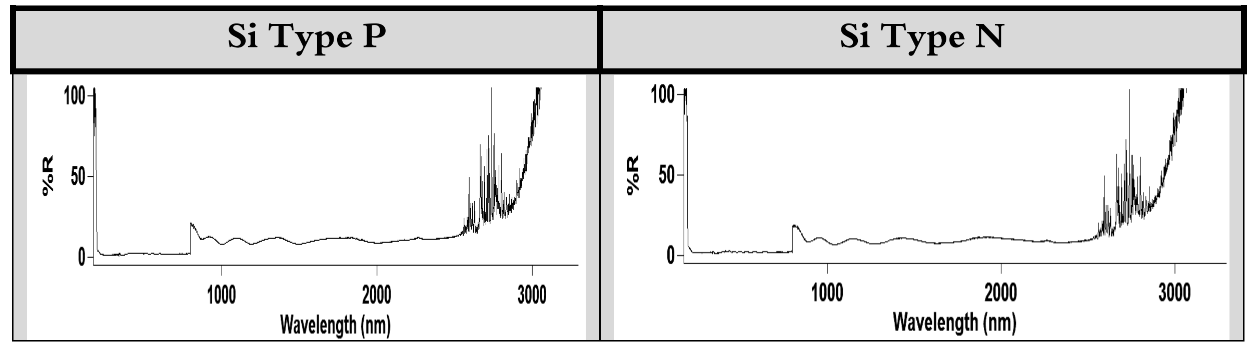


الشكل (5-30): طيف امتصاص غشاء ZnS الموضع على ركيزة سيليكون من النمط P

5-2-2-3- حساب قرينة الانكسار من منحني الانعكاسية :

كانت انعكاسية الأغشية شبه معدومة %(2-1) ضمن المجال المرئي لكلا النمطين (N,P) من ركائز السيليكون ومنخفضة (10%) في المجال تحت الأحمر .

وهذا يؤكد على كون الغشاء الموضع على ركيزة قرينة انكسارها أكبر من قرينة انكساره مانعاً للانعكاس، كما يوضح الشكل (5-31):



الشكل (5-31) : منحنيا الانعكاس لغشاءين من **ZnS** موضعين أحدهما على ركيزة من النمط **N** والآخر على ركيزة من النمط **P**.

بحساب قيم قرينة الانكسار للأغشية الموضعة على ركائز السيليكون حصلنا على النتائج التالية:

الجدول (5-22) يحوي قيم قرائن انكسار أغشية موضعة على السيليكون من النمط**N** :

n_1=2.02	n_2=1.9995	n_3=2.10238	n_4=2.129	$n_5$2.315
n_6=2.74	n_7=2.9	n_8=2.354	n_9=2.2	n_{10}2.29

الجدول (5-23) يحوي قيم قرينة انكسار أغشية السيليكون من النمط**P** :

n_1=2.21254	n_2=2.044	n_3=2.02	n_4=2.1767
n_5=2.17868	n_6=2.0777	n_7=2.17868	n_8=2.06

5-2-2-4- حساب ثخانة الأغشية الموضعة على ركائز السيليكون :

يمكن أيضاً أن نحسب ثخانة الأغشية الموضعة على ركائز سيليكون من النمطين (**P,N**) بملاحظة أماكن ظهور قمم التداخ،

واستخدام العلاقة التجريبية التي استخدمناها سابقاً :

$$d = \frac{m}{2D_m\sqrt{n^2 - Sin\theta}}$$

مع العلم أن القمم الناتجة لم تكن بوضوح القمم في حالة الركائز الزجاجية .

فكانت نتائج ثخانات أغشية ركائز السيليكون من النمط N في الجدول (5−24) التالي :

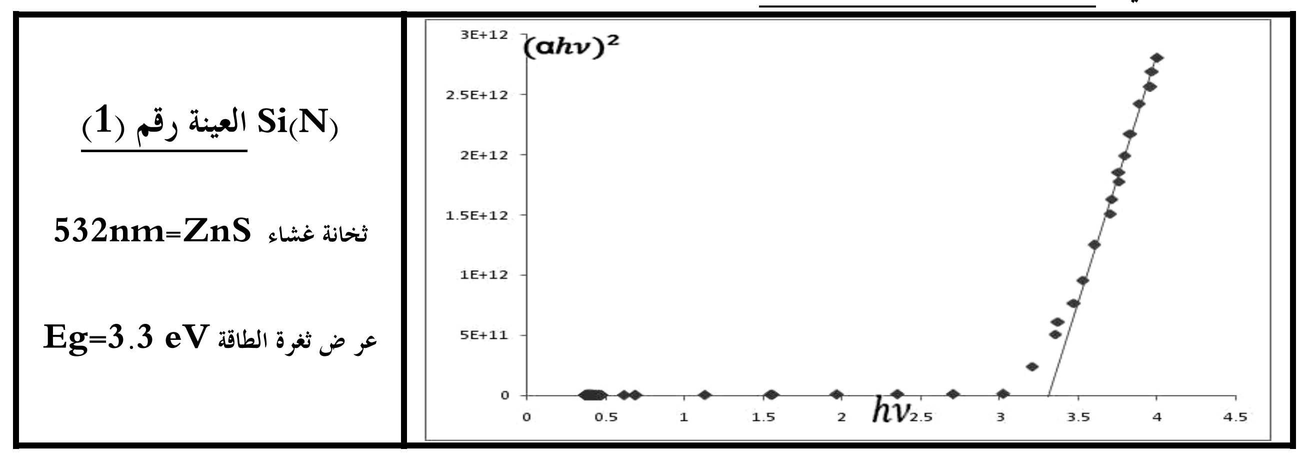
d_1=532.0191	d_2=1432.61	d_3=528.7632	d_4=1004.129	d_5=407.2084
d_6=276.1029	d_7=327.7637	d_8=156.7188	d_9=1374.003	d_{10}=2173.659

ونتائج ثخانات أغشية ركائز السيليكون من النمط Pفي الجدول (5−25) التالي :

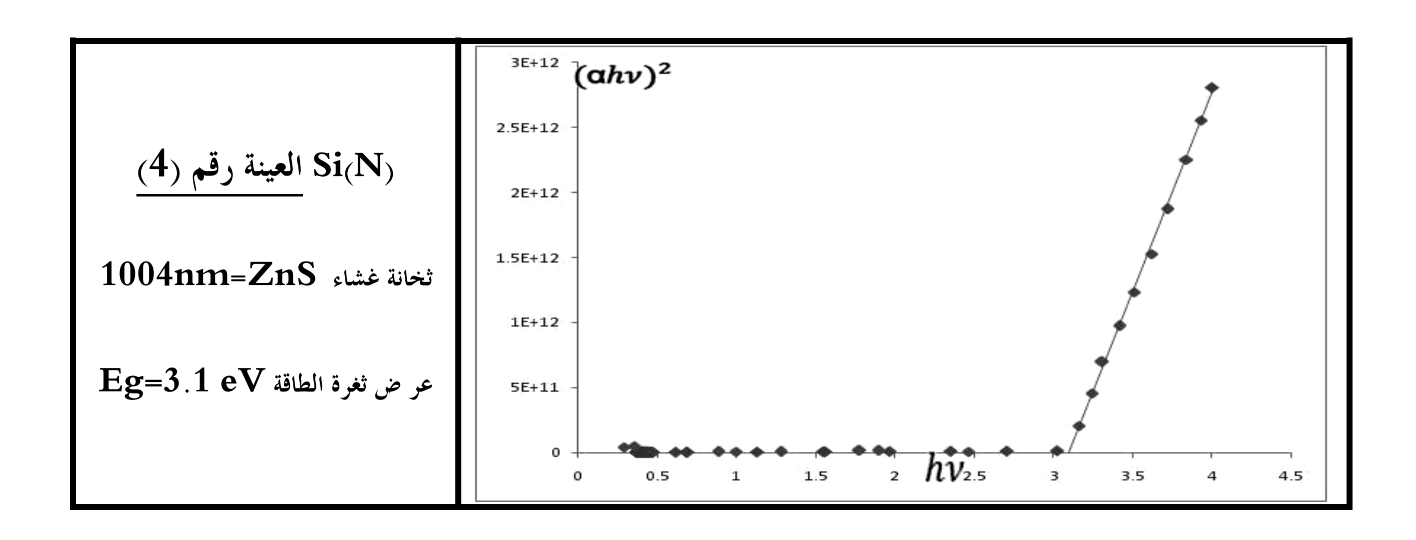
d_1=305.6234	d_2=1086.179	d_3=367.269	d_4=489.2579
d_5=375.5174	d_6=264.5986	d_7=1308.884	d_8=1073.155

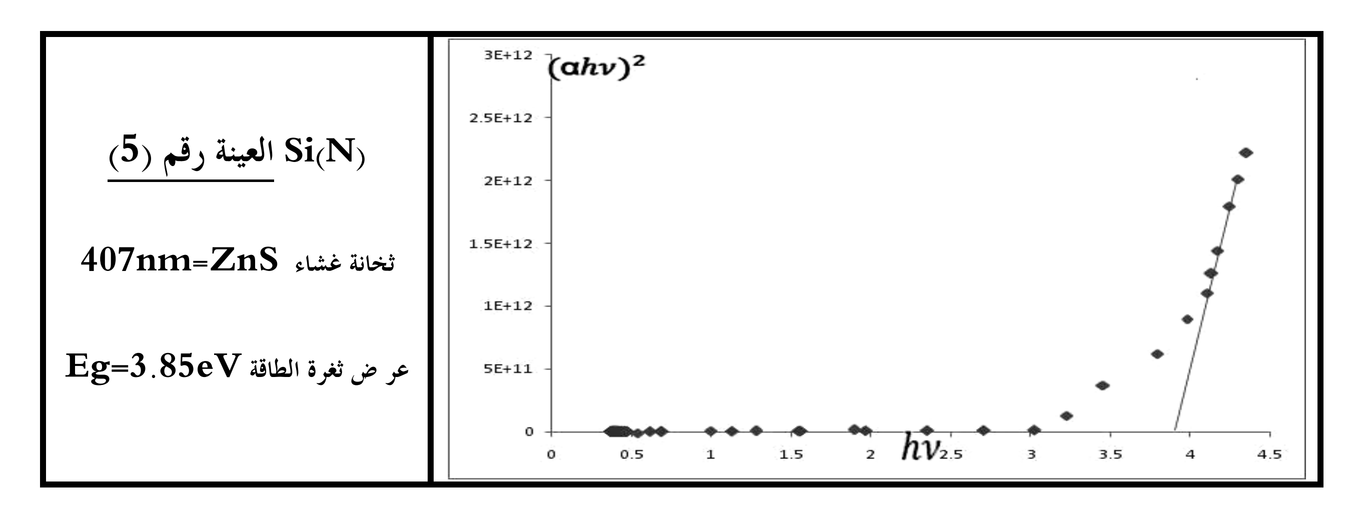
5−2−2−5− حساب عرض ثغرة الطاقة من نظرية الامتصاص :

- نرسم تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ و نستنتج قيمة عرض ثغرة الطاقة من القسم الخطي للمنحني كما في الشكل (5−32) التالي (ركائز السيليكون من النمط N):



Si(N) العينة رقم (2) ثخانة غشاء 1432.6nm=ZnS Eg=3eV عر ض ثغرة الطاقة	
Si(N) العينة رقم (3) 528.7nm=ZnS ثخانة غشاء Eg=3.8 eV عر ض ثغرة الطاقة	

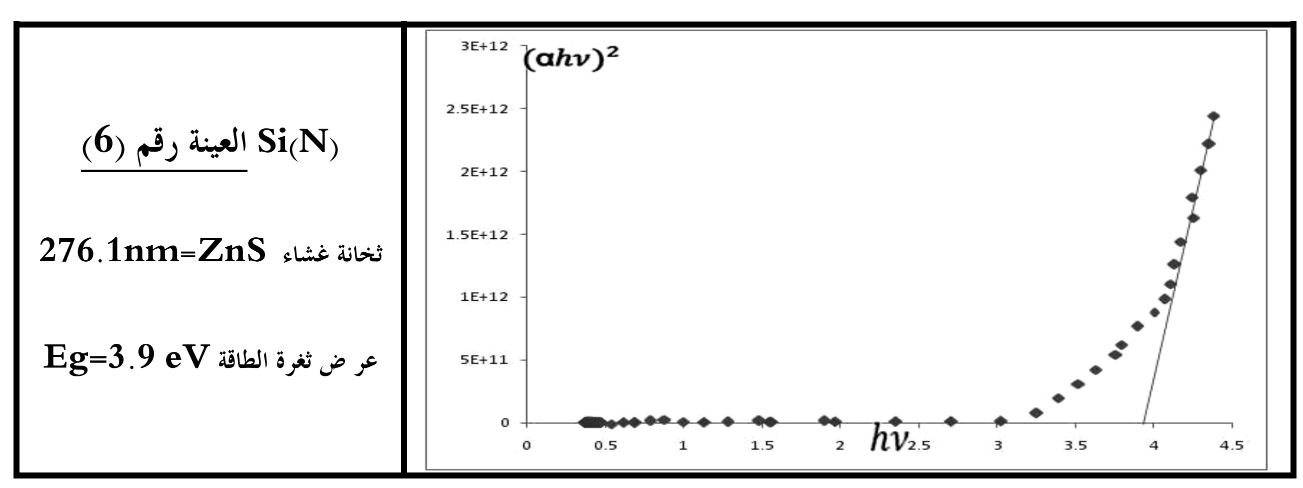




العينة رقم (5) Si(N)

ثخانة غشاء **ZnS=407nm**

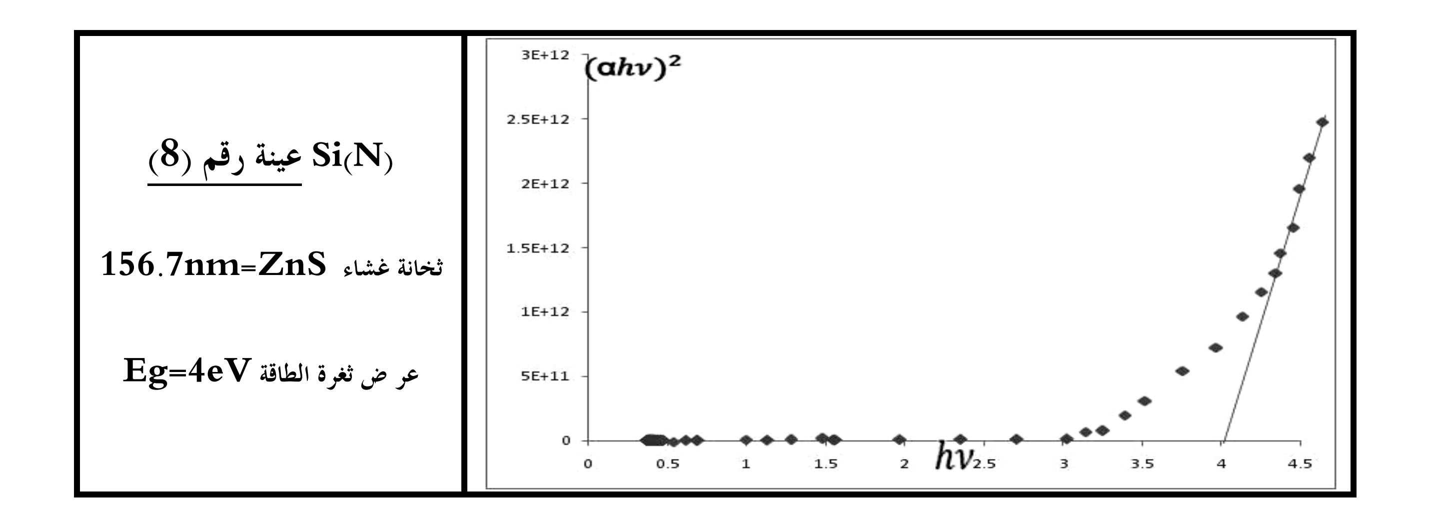
عرض ثغرة الطاقة **Eg=3.85eV**



العينة رقم (6) Si(N)

ثخانة غشاء **ZnS=276.1nm**

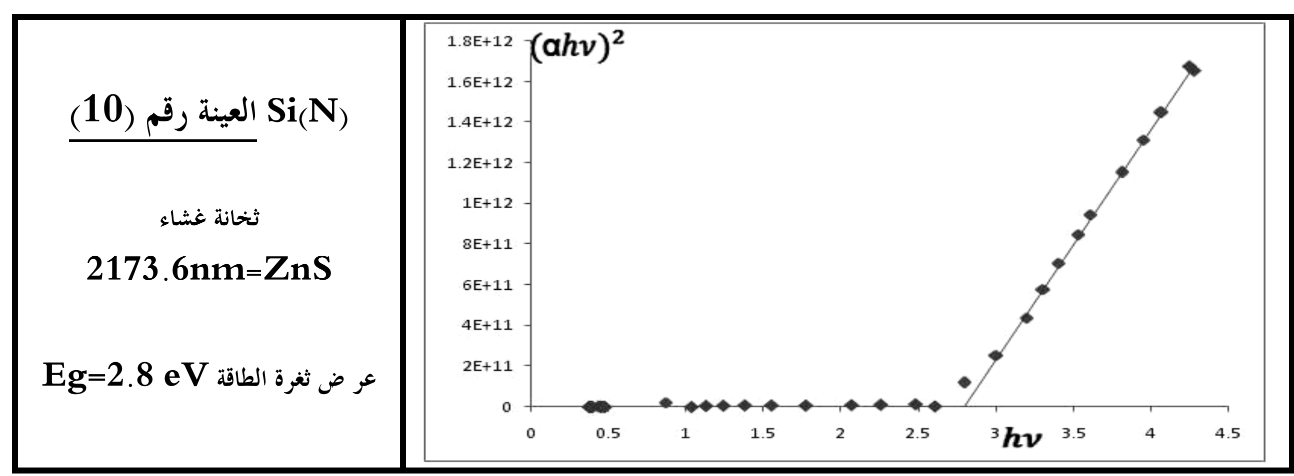
عرض ثغرة الطاقة **Eg=3.9 eV**



عينة رقم (8) Si(N)

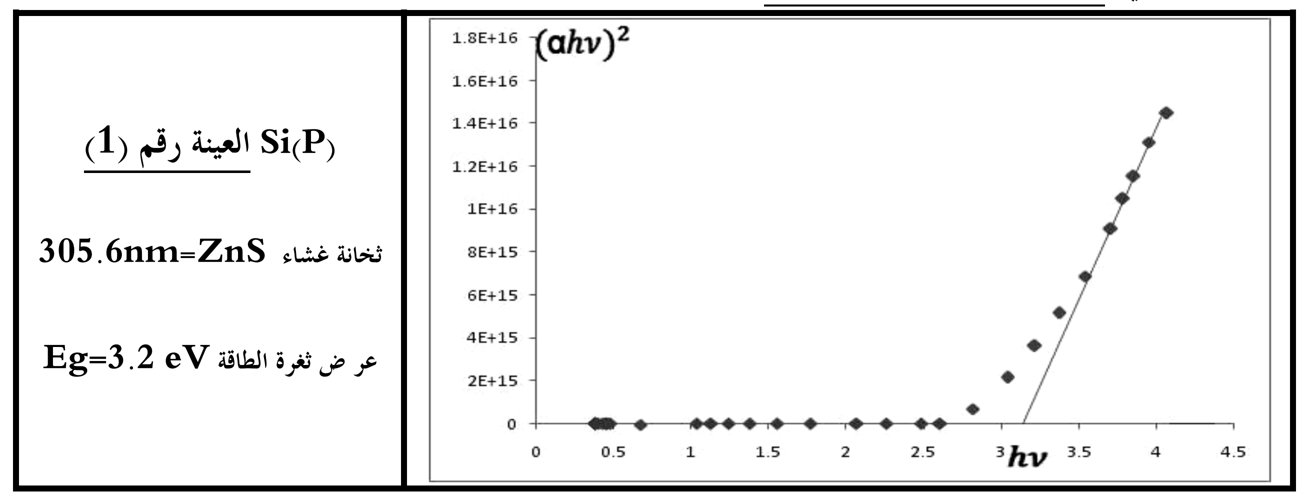
ثخانة غشاء **ZnS=156.7nm**

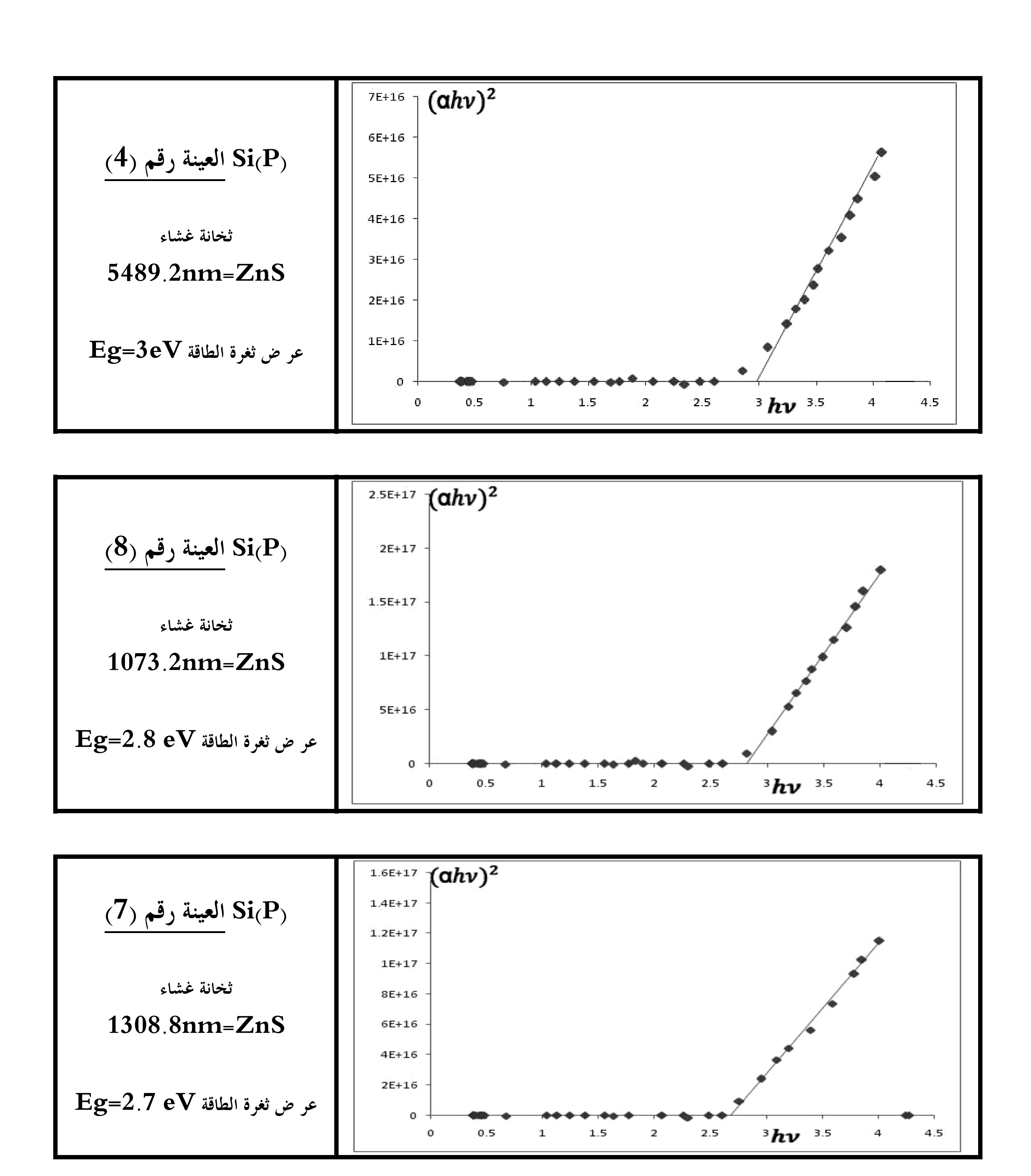
عرض ثغرة الطاقة **Eg=4eV**



الشكل (5-32) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ للعينات ذات ركائز سيليكون نمط **N**

- كما نرسم تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ و نستنتج قيمة عرض ثغرة الطاقة من القسم الخطي للمنحني كما في الشكل (5-33) التالي (ركائز السيليكون من النمط **P**):

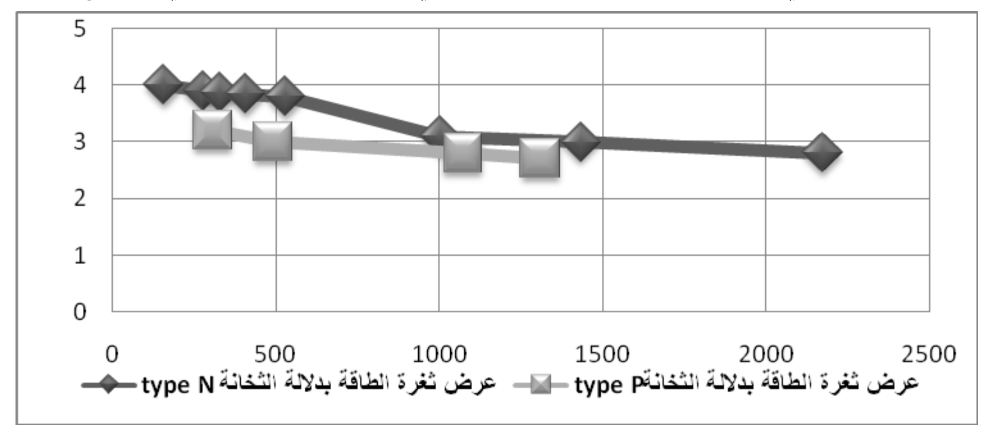




الشكل (5-33) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ للعينات ذات ركائز سيليكون نمط P.

5-2-2-6- تغير عرض ثغرة الطاقة بتغير الثخانة :

نلاحظ تناقص عرض ثغرة الطاقة بزيادة ثخانة الغشاء ، في كل من نمطي الركائز (النمط **N** و النمط **P**) لكن نلاحظ أن قيمة عرض ثغرة الطاقة المباشرة في النمط**N** ، أكبر من عرض الثغرة في حالة النمط **P** . كما في الشكل (**5-34**) :



الشكل (**5-34**) : تغير عرض ثغرة الطاقة بتغير ثخانة الغشاء .

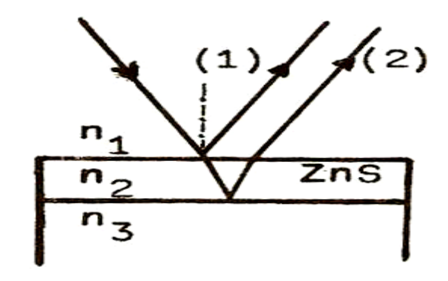
الفصل السادس

دراسة محاكية نظرية باستخدام برنامج الـــ MATLAB

نستخدم في هذا الفصل برنامج الــ **MATLAB** لإجراء دراسة نظرية محاكية للدراسة الضوئية العملية التي سنجريها على أغشية **ZnS** بعد أن يتم توضيعها على ركائز زجاجية وركائز سيليكون من النمطين **N** و**P**.

6-1- حساب عرض ثغرة الطاقة:

- لحساب عرض ثغرة طاقة أغشية ***ZnS*** نقوم أولاً بدراسة النفوذية:



يعاني الشعاع الضوئي الوارد على غشاء **ZnS** من انكسارين الأول عند السطح الفاصل بين الهواء والغشاء، والثاني عند السطح الفاصل بين الغشاء والركيزة. من أجل الحصول على تغيرات النفوذية بتغير طول الموجة نحسب النفوذية لأربعة أغشية مختلفة من ***ZnS*** ثخاناتها (***200,499,608,839nm***) **T** من العلاقة التالية :

$$T = \frac{I_t}{I_0} = \frac{(1-R_1)(1-R_2)}{1+R_1R_2-2\sqrt{R_1R_2}Cos\varphi} \qquad (6-1)$$

تعطى انعكاسية السطح الأول و الثاني على الترتيب :

$$R_1 = (\frac{n_2-n_1}{n_2+n_1})^2 \qquad و \qquad R_2 = (\frac{n_3-n_2}{n_3+n_2})^2$$

حيث ($n_1=1$): قرينة انكسار الهواء، ($n_2=2.35$): قرينة انكسار غشاء **ZnS**، (n_3): قرينة انكسار الركيزة، وزاوية ورود الأشعة φ، التي ترتبط بـــ **d**: ثخانة الغشاء(**nm**)، و λ: طول موجة الضوء الساقط(**nm**)، و n_2 قرينة انكسار الغشاء.

I_t : شدة الضوء النافذ ، I_0 : شدة الضوء الوارد .

ونميز في هذه المحاكاة حالتين:

أولاً :النفوذية في حالة الطبقات شديدة العكس :

في هذه الحالة تقدر قرينة انكسار غشاء ZnS بنحو $n_2 = 2.35$ ، وقرينة انكسار الركيزة الزجاجية بنحو $n_3 = 1.5$ ، وقرينة انكسار الهواء $n_1 = 1$، وزاوية ورود الأشعة ($\varphi = \frac{4\pi n_2 d}{\lambda}$)، بتعويض قيمها في علاقة النفوذية (6-1) نحصل على تغيرات النفوذية بدلالة طول الموجة ضمن المجال الموجي (100-1500nm) في حالة الثخانات التالية (200, 499, 608, 839nm) التي اختيرت من بين الثخانات الموضعة في الدراسة العملية.

ثانياً : دراسة النفوذية في حالة الطبقات غير العاكسة :

للحصول على تغيرات النفوذية بدلالة طول الموجة على المجال الموجي (100-1500nm) لنفس الثخانات السابقة (200, 499, 608, 839nm) في هذه الحالة نعوض قرائن الانكسار الطبقات الثلاث (هواء-غشاء ركيزة) كما يلي:
$n_1 = 1$ للهواء ، و $n_2 = 2.35$ لمادة ZnS ، و $n_3=3.4$ للسيليكون ، وزاوية ورود الأشعة $\varphi = 2\pi(1+\frac{2n_2 d}{\lambda})$

- ثم نحسب معامل الامتصاص بواحدة (cm^{-1}) من العلاقة :

$$\alpha = \frac{\ln(T) * 10^7}{d} \qquad (2-6)$$

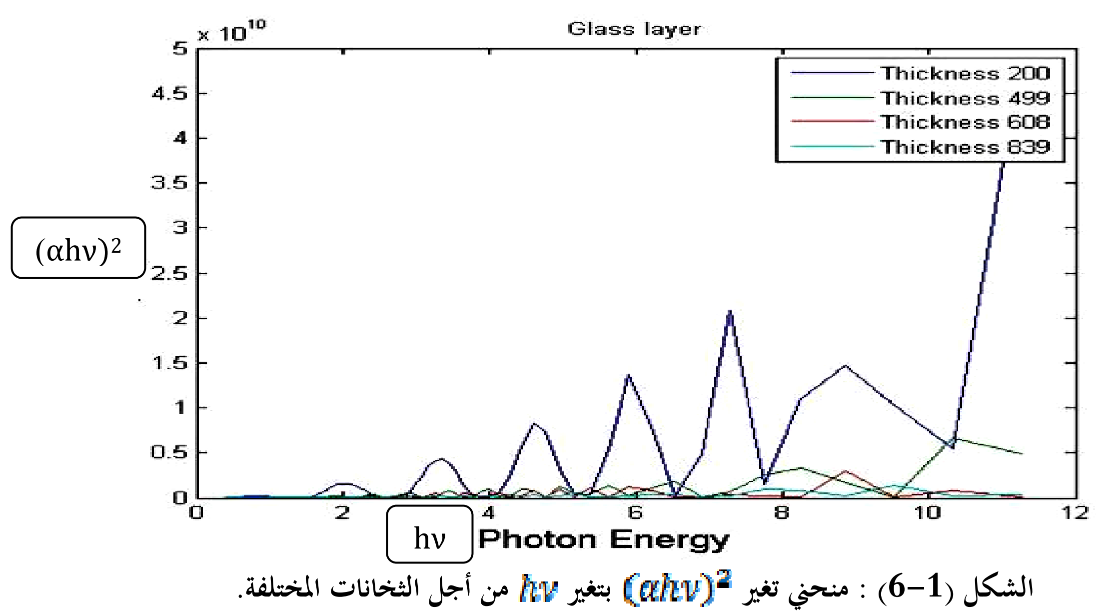
- ونحسب طاقة الفوتون الوارد على كامل مجال طول الموجة المفروض بواحدة الإلكترون فولط (eV)من العلاقة:

$$h\nu = \frac{1240}{\lambda} \qquad (3-6)$$

بحيث يقاس الطول الموجي بواحدة (A^0) . ونرسم تغيرات $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ لكل من الحالتين (الشديدة العكس والعديمة العكس).

6-1-1- أولاً : عرض ثغرة الطاقة في حالة الطبقات شديدة العاكسية :

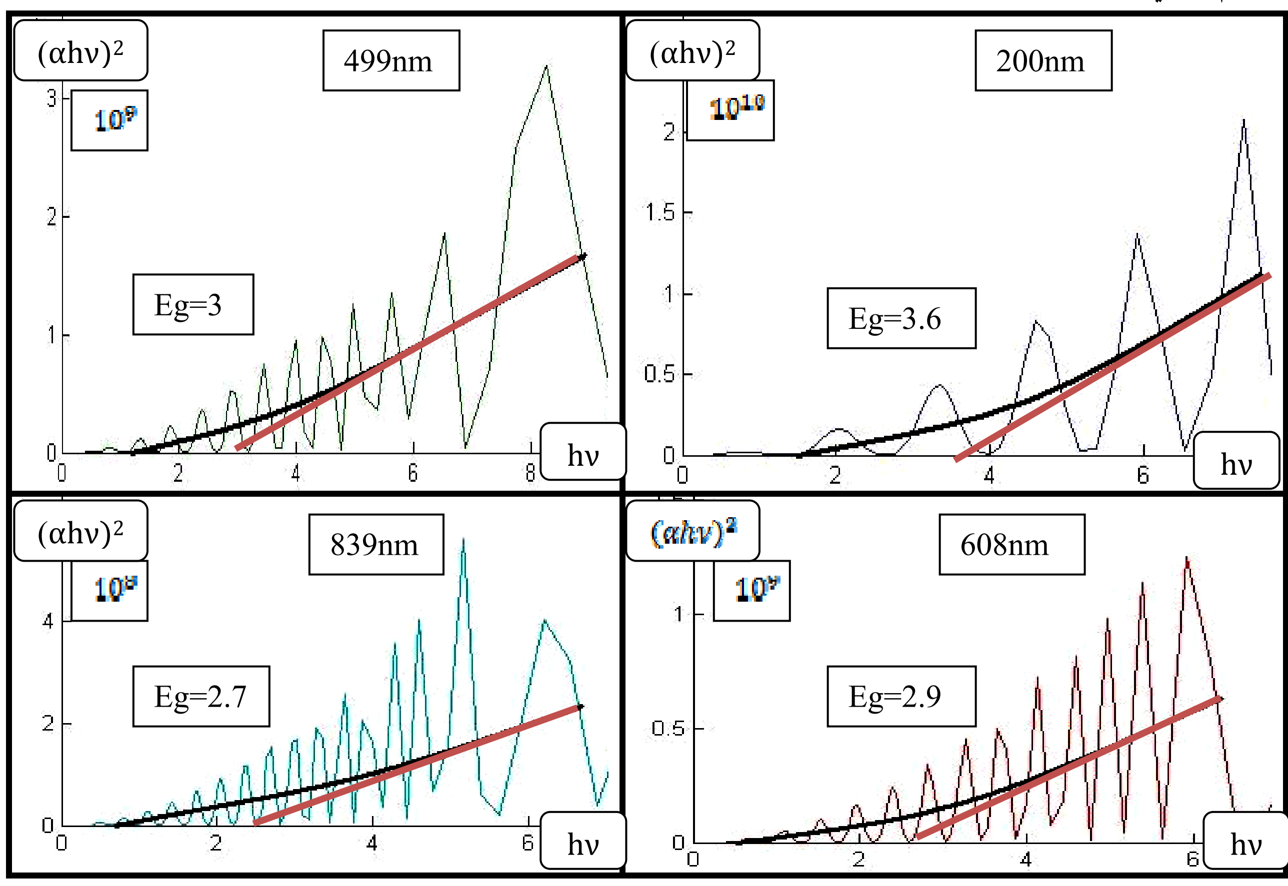
نأخذ قيم النفوذية المحسوبة نظرياً في الفقرة (6-1) ونحسب منها معامل الامتصاص على كامل المجال الموجي من أجل الثخانات المختلفة (200, 499, 608, 839nm)، ثم نحسب طاقة الفوتون الوارد باستخدام العلاقة (6-3). ونرسم منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ من أجل الثخانات المختلفة :



الشكل (6-1) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ من أجل الثخانات المختلفة.



برسم منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ من أجل كل ثخانة على حدا:



الشكل (6-2) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ من أجل كل ثخانة على حدا مع قيمة ثغرة الطاقة الناتجة.

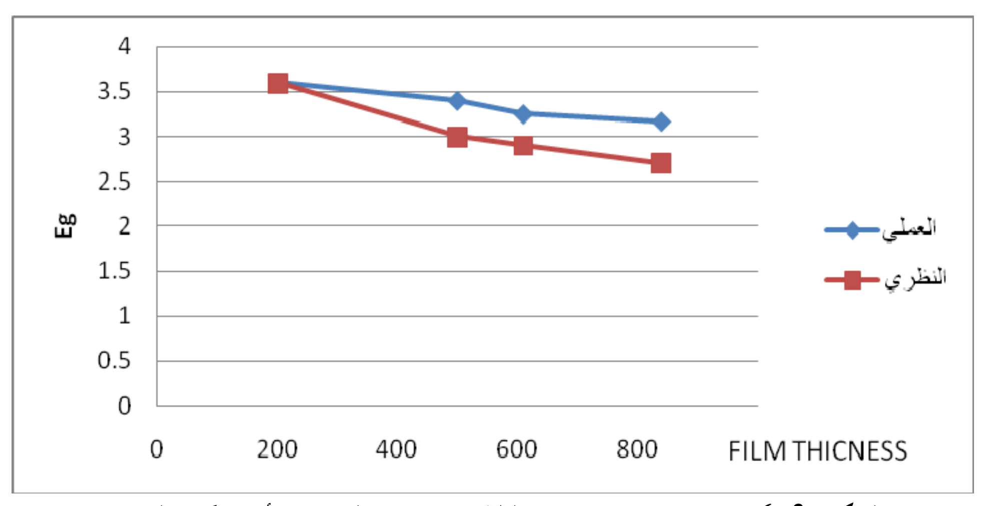
وبوضع النتائج كمقارنة لقيمة عرض ثغرة الطاقة النظرية و العملية في الجدول (1-6):

الشخانة nm		200	499	608	839
عرض الثغرة	النظرية	3.6	3	2.9	2.7
	العملية	3.6	3.4	3.25	3.167

ثم قمنا برسم تغيرات عرض ثغرة الطاقة بتغير ثخانة الأغشية في الحالتين:

الأولى: تتمثل بالنتائج النظرية التي حصلنا عليها باستخدام برامج الـ *MATLAB* .

الثانية:تتمثل بالنتائج العملية التي حصلنا عليها من العمل التجريبي. فحصلنا على الشكل التالي :

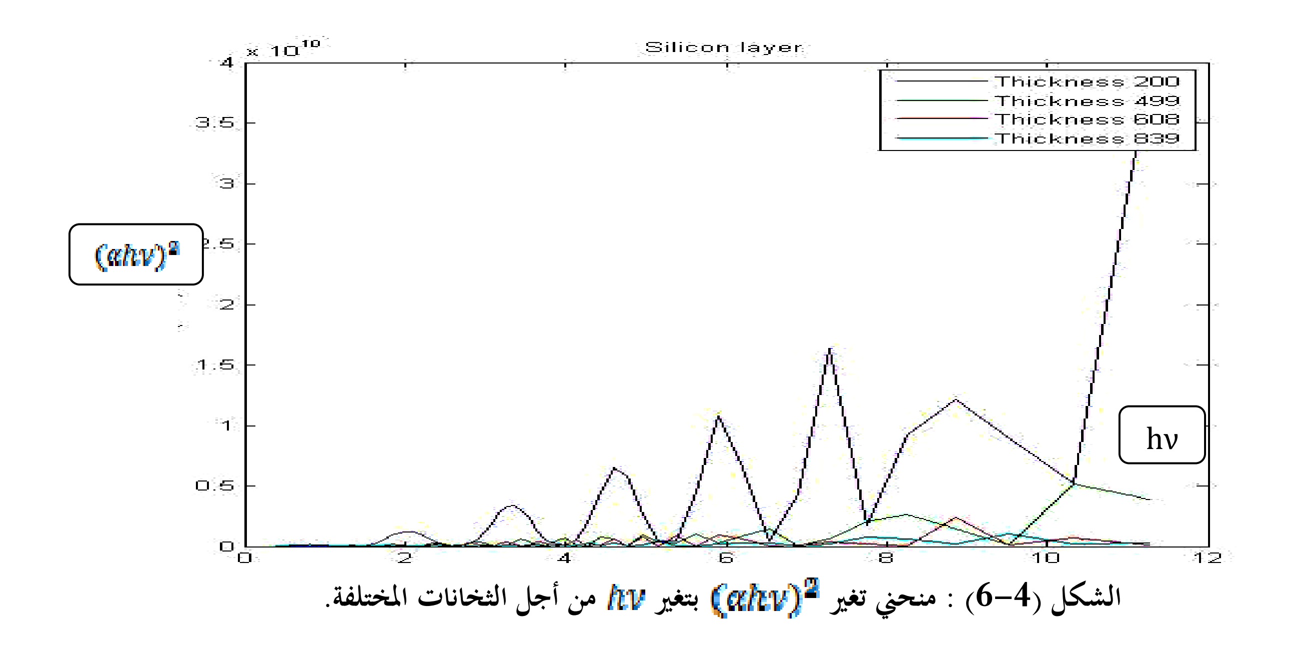


الشكل (3-6) : منحني تغير عرض ثغرة الطاقة بتغير ثخانة الغشاء من أجل ركائز الزجاج.

نلاحظ من المنحني السابق أن كلاً من القيم النظرية والعملية لعرض ثغرة الطاقة تتناقص بزيادة ثخانة الغشاء، لكن يتناقص عرض ثغرة الطاقة النظري بحدة أكبر، ويعزى هذا الاختلاف إلى عدم نقاوة الغشاء بسبب وجود العيوب أثناء توضيع الأغشية.

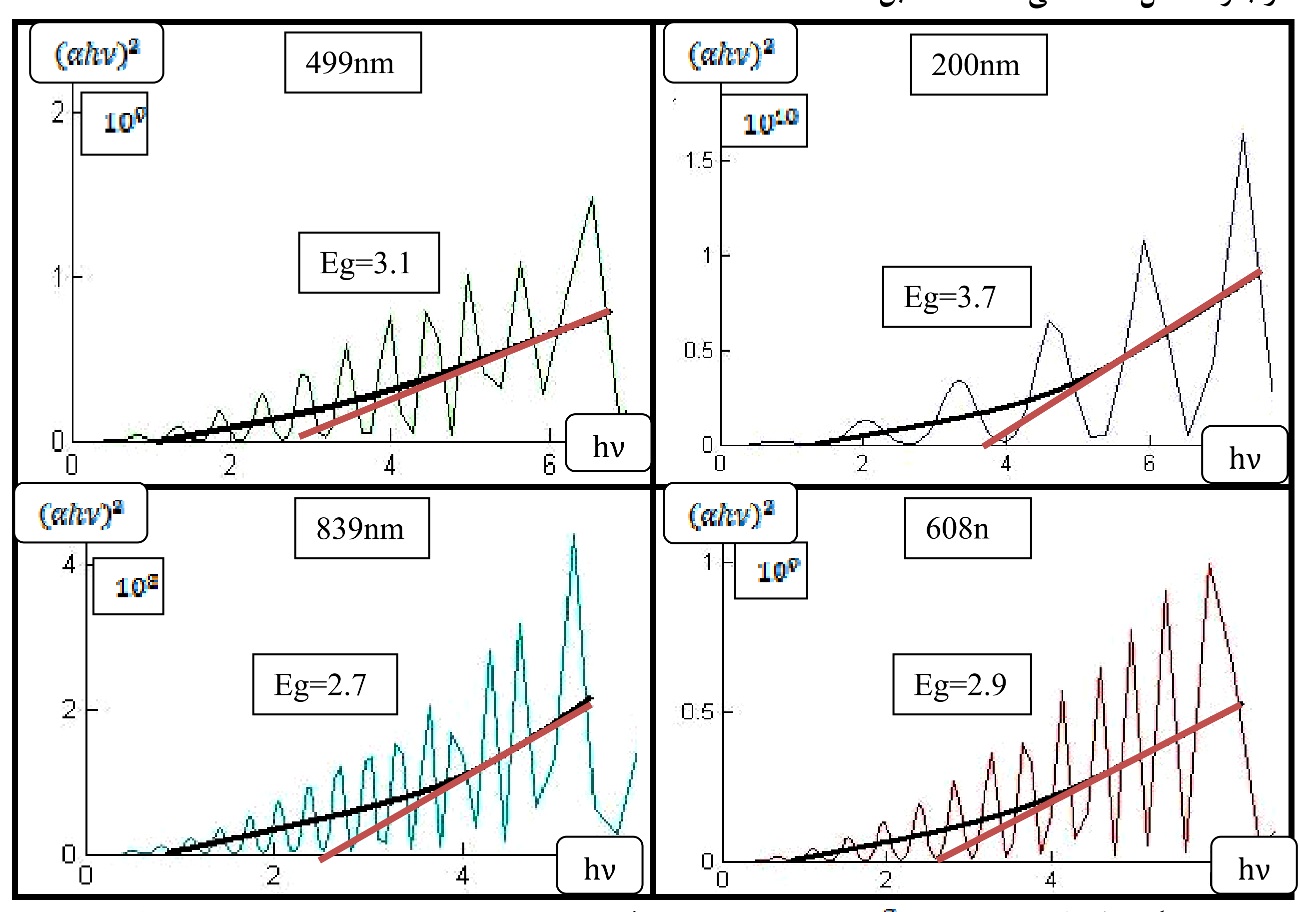
6-1-2- ثانياً :عرض ثغرة الطاقة في حالة الطبقات غير العاكسة :

نأخذ قيم النفوذية المحسوبة نظرياً في الفقرة(6-1) ونحسب منها معامل الامتصاص على كامل المجال الموجي من أجل الثخانات المختلفة (*200,499,608,839nm*)، ثم نحسب طاقة الفوتون الوارد باستخدام العلاقة (6-3) ونرسم منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ من أجل الثخانات المختلفة :



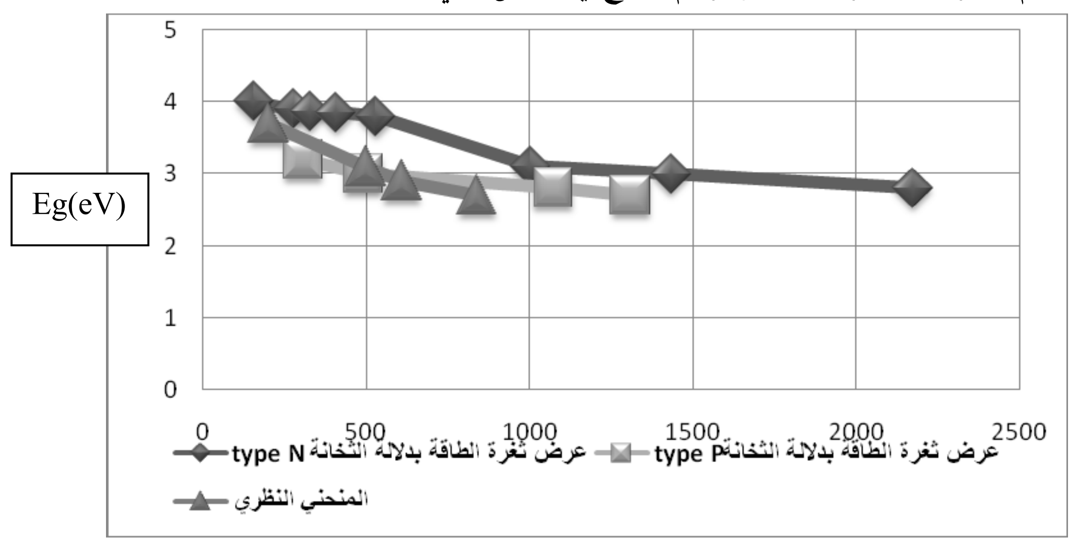
الشكل (6–4) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ من أجل الثخانات المختلفة.

و بدراسة كل ثخانة على حدا كما سبق :



الشكل (6–5) : منحني تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$ من أجل كل ثخانة على حدا مع قيمة ثغرة الطاقة الناتجة.

وللموازنة بين القيم التجريبية والنظرية كالسابق نرسم النتائج في الشكل التالي :



الشكل (6–6) : منحني تغير عرض ثغرة الطاقة بتغير ثخانة الغشاء من أجل ركائز السيليكون بنمطيها

نلاحظ أن تناقص عرض ثغرة الطاقة بزيادة الثخانة يكون في الحالة النظرية أشد مما هو عليه في الحالة العملية التي تم توضيع أغشية ZnS على نمطي السيليكون N و P .

6–2- دراسة نظرية لانعكاسية غشاء ZnS :

لمعرفة تغيرات الانعكاسية بدلالة طول الموجة، نستخدم العلاقة التالية :

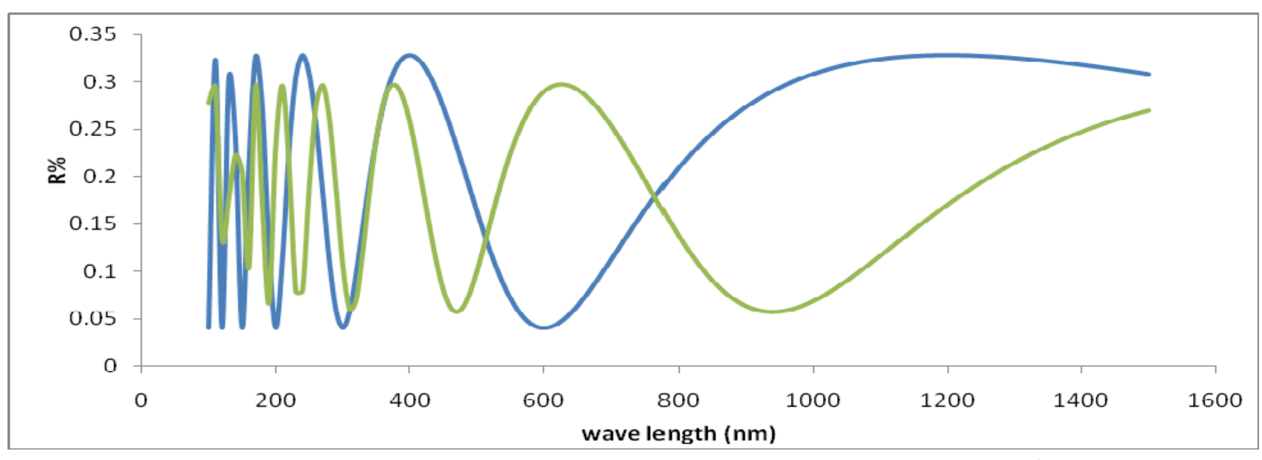
$$R = \frac{I_r}{I_0} = \frac{R_1 + R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2}\,Cos\varphi}{1 + R_1 R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2}\,Cos\varphi} \qquad (4\text{–}6)$$

حيث ($n_1=1$): قرينة انكسار الهواء، ($n_2=2.35$): قرينة انكسار غشاء ZnS، (n_3): قرينة انكسار الركيزة ، و $\varphi = \frac{4\pi n_2 d}{\lambda}$ في حالة الطبقات العديمة العكس، أما في حالة الطبقات الشديدة العكس تكون $\varphi = 2\pi(1+\frac{2n_2 d}{\lambda})$ حيث d: ثخانة الغشاء(nm)، و λ: طول موجة الضوء الساقط(nm)،

I_r: شدة الضوء المنعكس ، I_0 : شدة الضوء الوارد .

ونميز في هذه المحاكاة حالتين : الطبقات الشديدة العكس عندما يوضع الغشاء على ركائز زجاجية وغير العاكسة عندما يوضع الغشاء على ركائز من السيليكون.

وبأخذ عينة واحدة بثخانة غشاء ZnS (*200nm*)، موضع على ركيزتين الأولى زجاجية و الثانية من السيليكون للمقارنة:



الشكل (8–6) : منحنين نظريين لنفس ثخانة الغشاء($200nm$) مع اختلاف الركيزة.

الأخضر لغشاء ZnS موضع على ركيزة زجاج. الأزرق لغشاء ZnS على ركيزة سيليكون

نلاحظ في المنحنيين تعاكس في مكان القمم والقيعان نظراً للاختلاف في الطور بين الحالتين وهنالك اختلاف واضح بشدة الضوء المنعكس عن الركيزتين المختلفتين (الزجاج والسيليكون) .

وهذا يدل على أهمية غشاء ZnS كغشاء شديد العكس يستخدم في صنع المرايا الليزرية عندما يوضع على ركائز من الزجاج، وكغشاء مانع للانعكاس عندما يوضع على ركائز من السيليكون، حيث يخفض من انعكاسيته الشديدة عند توضيعه عليها.

نلاحظ أن هذا الشكل يختلف عن طيف الانعكاس بدلالة الطول الموجي الذي حصلنا عليه في الدراسة العملية عند توضيع غشاء ZnS على ركائز من السيليكون من النمطين N,P، حيث يبدأ ظهور القمم و القيعان في المنحني العملي بعد الطول الموجي ($1000nm$) تقريباً عندما يصبح السيليكون (الركيزة) نافذاً للضوء، أما باقي الطيف فهو شبيه بالمنحني السابق للدراسة المحاكية.

الخاتمة:

تم في هذا البحث دراسة عملية لغشاء ZnS نظراً لأهميته في الصناعات الفوتوالكترونية، حيث يمتاز بخواص ضوئية مميزة وهو ذو تكلفة منخفضة مقارنة بالمواد المستخدمة في تلك الصناعات مثل (CdTe) .

بالبداية تم توضيع أغشية ZnS على ركائز زجاجية وأخرى من السيليكون بنمطين N,P. ثم قمنا بدراسة بنيوية للغشاء الموضع من خلال طيف انعراج الأشعة السينية،حيث أظهر ذلك الطيف في الأغشية الموضعة على ركائز الزجاج تبلور ببنية مكعبية، وتزداد القمم في الطيف حدة وضيق كلما زادت ثخانة الغشاء، وذلك يتوافق مع النتائج التجريبية في الدراسة المرجعية التي تم فيها توضيع الأغشية بطرق مختلفةكما المراجع [41] [40] [37] [36] [34] [33] [31] [32]، ولم نحصل في الأغشية الموضعة على الركائز الزجاجية على أغشية ذات بنية سداسية كما حصل في المراجع [35] [30] [39] [38]، كما كانت أطياف انعراج الأشعة السينية في الدراسات المرجعية أكثر نعومة مما يدا على أنها أكثر تبلوراً من الأغشية في هذا البحث.

كما تم في هذا البحث دراسة طيف انعراج الأشعة السينية للأغشية الموضعة على ركائز السيليكون، واستنتجنا أنه في حالة أغشيةZnS الموضعة على ركائز سيليكون من النمط N يظهر تبلور ببنية مكعبية بسيطة، أما في حالة أغشية ZnS الموضعة على ركائز سيليكون من النمط P تم ظهور طورين لمادة الغشاء (البنية المكعبية البسيطة لبعض الأغشية والبنية السداسية للبعض الآخر منها)، كما كانت الأغشية كلها متعددة التبلور ذات توجه بلوري مفضل.

وعند دراسة أبعاد الحبيبات البلورية للأغشية الموضعة حصلنا على قيم تقع في المجال من (5nm) إلى (12nm) في حالة أغشية ZnS الموضعة على ركائز زجاجية وهي قيم قريبة من قيم أبعاد الحبيبات البلورية في الدراسات المرجعية [31] [39] كما كانت أصغر من قيم الدراسات المرجعية [35] [34] كون أنه في هذه الدراسات كان هنالك تأثير واضح للحرارة على تبلور الأغشية الموضعة، ومن (3nm) إلى (28nm) في حالة الأغشية الموضعة على ركائز سيليكون من النمط P، ومن (9nm) إلى (60nm) في حالة الأغشية الموضعة على الركائزسيليكون من النمط N، حيث استنتجنا أن التوضيع على ركائز من السيليكون من نمط N تعطي أفضل تبلور للأغشية.

كما لاحظنا في هذا البحث أن الذرات تعاني من الانفعال يتناقص مع ازدياد نمو الغشاء، وتتناقص كثافة عدم التموضع مع زيادة ثخانة الأغشية.

أما في الدراسة الضوئية تم دراسة نفوذية الأغشية الموضعة وكانت تقع في المجال (%90–%80) المماثلة لقيم النفوذية في الدراسة المرجعية [40] [44] [31] وأفضل من النفوذية في الدراساة المرجعية[35] [32]، وتم حساب قرينة انكسار الأغشية بطريقتين (الأولى من منحني الانعكاسية و الثانية من منحني النفوذية).

كما تم حساب ثخانة الأغشية من قانون تجريبي، وحساب عرض ثغرة الطاقة من نظرية الامتصاص مع إهمال الامتصاص نظراً لصغره، كما تم حساب عرض ثغرة الطاقة للأغشية بطريقة ثانية تأخذ بعين الاعتبار وجود امتصاص ولو كان صغيراً لنتائج أكثر دقة.

وكانت قيم عرض ثغرة الطاقة يقع في المجال من (3.8eV) إلى (3.04eV) وهي توافق قيم الدراسات المرجعية [30] [40] [44] [43] [42] [39] [35] [33] [32] .

كما كان الامتصاص شبه معدوم على كامل مجال الطول الموجي مع ظهور قمم امتصاص في المجال الموجي من (300nm) إلى (400nm) الموافق لنتيجة المرجع [39].

وعند دراسة قدرة الغشاء على تحسين كفاءة خلية شمسية من السيليكون حصلنا على زيادة في الكفاءة من (10%) إلى (11.5%) و ذلك يتوافق مع [48] [47] [46].

في النهاية شكر خاص إلى كل من ساعد في الحصول نتائج هذا البحث من فنيين ودكاترة

وجزيل الشكر للدكاترة المشرفين

المــراجـــع:

[1] S.H. Deulkara, C.H. Bhosalea, M. Sharonb, J. Phs. Chem. Solids (2004).

[2] H. Pang, et al., J. Lumin. 122-123 (2007) 587-9.

[3] T. Wada, Y. Hashimoto, S. Nishiwaki, T. Satoh, S. Hayashi, T. Negami, H. Miyake, Solar Energy Mater. Solar Cells 67 (2001) 305.

[4] J. Cheng, D. Fan, H. Wang, B.W. Liu, Semicond. Sci. Technol. 18 (2003) 676.

[5] L. Thamizhmani, A.K. Azad, J. Dai,W. Zhang, Appl. Phys. Lett. 86 (2005) 131111

[6] E. Bellotti, K.F. Brennan, R. Wang, P.P. Ruben, J. Appl. Phys. 83 (1998) 4765.

[7] B. Elidrissi, M. Addou, M. Regragui, A. Bougrine, A. Kachouane,and J. C. Bern`ede, "Structure, composition and optical properties of ZnS thin films prepared by spray pyrolysis," Materials Chemistry and Physics, vol. 68, no. 1–3, pp. 175–179, 2001.

[8] A.N. Yazici, M. Oztas, M. Bedir, J. Luminescence 104 (2003) 115.

[9] M. Ohring. The materials sience of thin films. Deposition and Structure (1992).

[10] J. Vidal. O. de Melo. O. Vigil, N. Lopez, G. Contreras-Puente, O. Zelaya-Angel, Thin Solid Films (2002).

[11] (Thin film optical filter) (MACLEOD) third edition (May 1969).

[12] Raven M. S. ، Phys. Rev. B 52 (1995) p 6845 Inameti E. E.، Iwama S.، Wan Y. M.، Murray B. G.

[13] Light (R.W.Ditchburn). (1961)

[14] Thin film Deposition : Applide Physics 298r . E.Chen (4-12-2004).

[15] PENNSTATE. Applied Research Laboratort. Electron Beam Physical vapor eposition Technology : present and Futcur Application.

[16] R. Nomura,T. Murai,T.Toyosaki, H. Matsuda, Thin Solid Films 271 (1995) 4–7.

[17] H. H. Afifi, S. A. Mahmoud, and A. Ashour, "Structural studyof ZnS thin films prepared by spray pyrolysis," Thin Solid Films, vol. 263, no. 2, pp. 248–251, 1995.

[18] P.K. Nair, M.T.S. Nair, Semicond. Sci. Technol. 7 (1992) 239.

[19] H.H. Afifi, S.A. Mahmoud, A. Ashour, Thin Solid Films 263 (1995) 248–251.

[20] H. J. Emeleus, F. R. S. COMBRIDGE. Comprehesive Inorganic Chemistry.

[21] د. فخري كتوت. د.بسام معصراني فيزياء الجسم الصلب. جامعة دمشق (1982-1983)

[22] Davd R. Lide. CRC Hand book of Chemistry and Physics, Newyork(2003).

[23] الاهتزازات والأمواج (2) د.رجب باشا ،د.جان شنكجي،د.هدى قناعة من منشورات جامعة حلب (1993)

[24] الاهتزازات و الأمواج (2) د.طاهر تربدار من منشورات جامعة دمشق (1993-1994)

[25] الضوء الفيزيائي من منشورات جامعة دمشق د. ضيف الله نصور . د.نهلة داود. د.عبد الباسط قبس.(2005-2006)

[26] H.A.MACLEOD, Thin film optical filter, third edition 1986, 2001

[27] Infrared Multilayer Laboratory, absorption and extinction coefficient theory,university of reading, 2009.

[28] A.I. Gusev and A.A. Rempel. Nanocrystalline materials.(CISP) ,Cambridge, United Kingdom, 2004.

[29] Journal of optoelectronics and Advanced Materials, vol 8, No 1,43-45 (2006).

[30] K.R. Murali, S. Vasantha, K.Rajamma, Properties of pulse plated ZnS films, Materials Letters 62(2008) 1823-1826.

[31] R. Sahraei, G. Motedayen Aval, A. Baghizadeh, M. Lamehi-Rachti, A.Goudarzi, M.H. Majles Ara , Investigation of the Effect of Temperature on Growth Mechanism of Nanocrystalline ZnS Thin Films, Materials Letters (2008).

[32] Reza Sahraei □, Ghaffar Motedayen Aval, Alireza Goudarzi, Compositional, structural, and optical study of nanocrystalline ZnSthin films prepared by a new chemical bath deposition route, Journal of Alloys and Compounds (2007).

[33] Aytunc Ates a,_, M. Ali Yıldırım b, Mutlu Kundakcı a, Aykut Astam, Annealing and light effect on optical and electrical properties of ZnS thin films grown with the SILAR method, Materials Science in Semiconductor Processing, (2007).

[34] Xiaochun Wu, Fachun Lai *, Limei Lin, Jing Lv, Binping Zhuang, Qu Yan, Zhigao Huang, Optical inhomogeneity of ZnS films deposited by thermal evaporation, Applied Surface Science(2008).

[35] H.K. Sadekar a,b, N.G. Deshpande b, Y.G. Gudageb, A. Ghoshb, S.D. Chavhan b, S.R. Gosavi b, Ramphal Sharma, Growth, structural, optical and electrical study of ZnS thin films deposited by solution growth technique (SGT), Journal of Alloys and Compounds 453 (2008) 519–524.

[36] Beer Pal Singh a,*, Virendra Singh b, R.C. Tyagi a, T.P. Sharma, Effect of ambient hydrogen sulfide on the physical properties of vacuum evaporated thin films of zinc sulfide, Applied Surface Science 254 (2008) 2233–2237.

[37] Sumei Wang a,b,*, Xiaoyong Fu a,b, Guodong Xia a,b, Jianguo Wang a,b,Jianda Shao a, Zhengxiu Fan, Structure and optical properties of ZnS thin films grownby glancing angle deposition, Applied Surface Science 252 (2006) 8734–8737.

[38] A U UBALE* and D K KULKARNI, Preparation and study of thickness dependent electrical characteristics of zinc sulfide thin films, Bull. Mater. Sci., Vol. 28, No. 1, February 2005.

[39] A U UBALE*, V S SANGAWAR and D K KULKARNI, Size dependent optical characteristics of chemically deposited nanostructured ZnS thin films, Bull. Mater. Sci., Vol. 30, No. 2, April 2007.

[40] K.R.Murali a,□, A. Clara Dhanemozhi b, Rita John, Brush plated ZnS films and their properties, Journal of Alloys and Compounds xxx (2007).

[41] Jongwon Lee a,□, Sangwook Lee a, Sungryoung Choa, Seontai Kima, In Yong Park a, Yong Dae Choi, Role of growth parameters on structural and optical properties of ZnS
nanocluster thin films grown by solution growth technique, Materials Chemistry and Physics 77 (2002) 254–260.

[42] Naglaa Fathy_, Masaya Ichimura, Photoelectrical properties of ZnS thin films deposited from aqueous solution using pulsed electrochemical deposition, Solar Energy Materials & Solar Cells 87 (2005) 747–756.

[43] Qi Liua,*, Mao Guobinga, Ao Jianping, Chemical bath-deposited ZnS thin films: Preparation and characterization, Applied Surface Science 254 (2008) 5711–5714.

[44] R. Maitya, U.N. Maitia, M.K. Mitrab, K.K. Chattopadhyay, Synthesis and optical characterization of polymer-capped nanocrystalline ZnS thin films by chemical process, Physica E 33 (2006) 104–109.

[45] B. Asenjoa,_, A.M. Chaparroa, M.T. Gutie´rreza, J. Herreroa, J. Klaer, Study of CuInS2/ZnS/ZnO solar cells, with chemically deposited ZnS buffer layers from acidic solutions, Solar Energy Materials & Solar Cells 92 (2008) 302–306.

[46] U. Gangopadhyay,1, 2 K. Kim,2 S. K. Dhungel,2 H. Saha,1 and J. Yi , Application of CBD-Zinc Sulfide Film as an Antireflection Coating on Very Large Area Multicrystalline Silicon Solar Cell, 2007.

[47] Sambhu Kundu*, Larry C. Olsen, Chemical bath deposited zinc sulfide buffer layers for copper indium gallium sulfur-selenide solar cells and device analysis, Thin Solid Films 471 (2005) 298–303.

[48] Akira Ichiboshi, Masashi Hongo, Takuya Akamine, Tsukasa Dobashi, Tokio Nakada, Ultrasonic chemical bath deposition of ZnS(O,OH) buffer layers and its application to CIGS thin-film solar cells, Solar Energy Materials & Solar Cells 90 (2006) 3130–3135.

[49] Fabry, C. and Perot, A., Ann. Chim. Phys. 16 1899 115.

[50] Hind, A.R., 'R&D at the deep end', Chemistry in Australia, 68(4) 2001 12.

الملحـــق (1)

<u>الصيغ التي تم من خلالها المحاكاة النظرية باستخدام برنامج الـ ***MATLAB***</u>

<u>من أجل ركائز الزجاج :</u>

<u>لإيجاد منحنيات النفوذية بتغير طول الموجة :</u>

```
n0 = 1; % air refraction index
ns = 2.35; % medium refraction index
ng = 1.5; % For glass refraction index
opticthikness = [200 499 608 839];% e
nLayer =1; % Number of layers
Lmin=100;
Lmax=3000;
Lstep=10;
L1=100; % First layer Starter
L2=100; % Second layer Starter
L3=100; % Third layer Starter
L4=100; % Fourth layer Starter
R1 = ((ns-n0)/(ns+n0))^2;
R2 = ((ng-ns)/(ng+ns))^2;
n=0; % First loop Starter
m=0; % Second loop Starter
k=0; % Third loop Starter
o=0; % Fourth loop Starter

 for th=0:1:3;
     th=th +1;
 for W=Lmin:Lstep:Lmax;
 switch(th)
    case 1
 L1=L1+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L1);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa1 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 n = n +1;
 E1(n) = 1240/L1;
 A1(n) = Alfa1;
 AE1(n) = (1240/L1 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 F(n)= T;
    case 2
 L2=L2+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L2);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa2 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 m = m +1;
 E2(m) = 1240/L2;
 A2(m) = Alfa2;
 AE2(m) = (1240/L2 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 G(m)= T;
    case 3
 L3=L3+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L3);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa3 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
```

```
 k = k +1;
 E3(k) = 1240/L3;
 A3(k) = Alfa3;
 AE3(k) = (1240/L3 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 H(k)= T;
    case 4
 L4=L4+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L4);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa4 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 o = o +1;
 E4(o) = 1240/L4;
 A4(o) = Alfa4;
 AE4(o) = (1240/L4 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 I(o)= T;
 end
 end
 end
 % Ploting outputs
Step =100:10:3000;
plot(Step,F(),Step,G(),Step,H(),Step,I());
 % Adding labels to the graph
xlabel('WL = 100 to 3000','FontSize',14)
ylabel('Transmission graph for different thicknesses [200 499 608
839]','FontSize',14)
title('Glass layer')
```

لإيجاد منحنيات تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$:

```
n0 = 1; % air refraction index
ns = 2.35; % medium refraction index
ng = 1.5; % For glass refraction index
opticthikness = [200 499 608 839];% e
nLayer =1; % Number of layers
Lmin=100;
Lmax=3000;
Lstep=10;
L1=100; % First layer Starter
L2=100; % Second layer Starter
L3=100; % Third layer Starter
L4=100; % Fourth layer Starter
R1 = ((ns-n0)/(ns+n0))^2;
R2 = ((ng-ns)/(ng+ns))^2;
n=0; % First loop Starter
m=0; % Second loop Starter
k=0; % Third loop Starter
o=0; % Fourth loop Starter

 for th=0:1:3;
     th=th +1;
 for W=Lmin:Lstep:Lmax;
 switch(th)
    case 1
 L1=L1+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L1);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa1 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 n = n +1;
```

```
 E1(n) = 1240/L1;
 A1(n) = Alfa1;
 AE1(n) = (1240/L1 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 F(n)= T;
    case 2
 L2=L2+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L2);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa2 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 m = m +1;
 E2(m) = 1240/L2;
 A2(m) = Alfa2;
 AE2(m) = (1240/L2 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 G(m)= T;
    case 3
 L3=L3+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L3);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa3 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 k = k +1;
 E3(k) = 1240/L3;
 A3(k) = Alfa3;
 AE3(k) = (1240/L3 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 H(k)= T;
    case 4
 L4=L4+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L4);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa4 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 o = o +1;
 E4(o) = 1240/L4;
 A4(o) = Alfa4;
 AE4(o) = (1240/L4 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 I(o)= T;
 end
% F(n) = T;
 end
 end
 % Ploting outputs
plot(E1(),AE1(),E2(),AE2(),E3(),AE3(),E4(),AE4());
 % Adding labels to the graph
xlabel('Photon Energy E()','FontSize',14)
ylabel('(Î±E)^2','FontSize',14)
title('Glass layer')
```

من أجل منحنيات الانعكاسية:

```
n0 = 1; % air refraction index
ns = 2.35; % medium refraction index
ng = 1.5; % For glass refraction index
opticthikness = [200 499 608 839];% e
nLayer =1; % Number of layers
Lmin=100;
Lmax=3000;
Lstep=10;
L1=100; % First layer Starter
L2=100; % Second layer Starter
```

```
L3=100; % Third layer Starter
L4=100; % Fourth layer Starter
R1 = ((ns-n0)/(ns+n0))^2;
R2 = ((ng-ns)/(ng+ns))^2;
n=0; % First loop Starter
m=0; % Second loop Starter
k=0; % Third loop Starter
o=0; % Fourth loop Starter

 for th=0:1:3;
     th=th +1;
 for W=Lmin:Lstep:Lmax;
 switch(th)
    case 1
 L1=L1+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L1);
 R = ((R1 + R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) *
cos(fi)));
 Alfa1 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R);
 n = n +1;
 E1(n) = 1240/L1;
 A1(n) = Alfa1;
 AE1(n) = (1240/L1 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R))^2;
 F(n)= R;
    case 2
 L2=L2+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L2);
 R = ((R1 + R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) *
cos(fi)));
 Alfa2 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R);
 m = m +1;
 E2(m) = 1240/L2;
 A2(m) = Alfa2;
 AE2(m) = (1240/L2 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R))^2;
 G(m)= R;
    case 3
 L3=L3+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L3);
 R = ((R1 + R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) *
cos(fi)));
 Alfa3 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R);
 k = k +1;
 E3(k) = 1240/L3;
 A3(k) = Alfa3;
 AE3(k) = (1240/L3 *(((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R))^2;
 H(k)= R;
    case 4
 L4=L4+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L4);
 R = ((R1 + R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) *
cos(fi)));
 Alfa4 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R);
 o = o +1;
 E4(o) = 1240/L4;
 A4(o) = Alfa4;
 AE4(o) = (1240/L4 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R))^2;
 I(o)= R;
```

```
 end
 end
 end
 % Ploting outputs
Step =100:10:3000;
plot(Step,F(),Step,G(),Step,H(),Step,I());
 % Adding labels to the graph
xlabel('WL = 100 to 3000','FontSize',14)
ylabel('Reflection graph for different thicknesses [200 499 608
839]','FontSize',14)
title('Glass layer')
```

من اجل ركائز السيليكون :

لإيجاد منحنيات النفوذية بتغير طول الموجة :

```
n0 = 1; % air refraction index
ns = 2.35; % medium refraction index
nsi = 3.4; % For silicon refraction index
opticthikness = [200 499 608 839];% e
nLayer =1; % Number of layers
Lmin=100;
Lmax=3000;
Lstep=10;
L1=100; % First layer Starter
L2=100; % Second layer Starter
L3=100; % Third layer Starter
L4=100; % Fourth layer Starter
R1 = ((ns-n0)/(ns+n0))^2;
R2 = ((nsi-ns)/(nsi+ns))^2;
n=0; % First loop Starter
m=0; % Second loop Starter
k=0; % Third loop Starter
o=0; % Fourth loop Starter

 for th=0:1:3;
     th=th +1;
 for W=Lmin:Lstep:Lmax;
 switch (th)
    case 1
 L1=L1+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L1);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa1 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 n = n +1;
 E1(n) = 1240/L1;
 A1(n) = Alfa1;
 AE1(n) = (1240/L1 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 F(n)= T;
    case 2
 L2=L2+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L2);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa2 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 m = m +1;
 E2(m) = 1240/L2;
```

```
 A2(m) = Alfa2;
 AE2(m) = (1240/L2 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 G(m)= T;
    case 3
 L3=L3+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L3);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa3 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 k = k +1;
 E3(k) = 1240/L3;
 A3(k) = Alfa3;
 AE3(k) = (1240/L3 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 H(k)= T;
    case 4
 L4=L4+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L4);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa4 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 o = o +1;
 E4(o) = 1240/L4;
 A4(o) = Alfa4;
 AE4(o) = (1240/L4 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 I(o)= T;
 end
 end
 end
 % Ploting outputs
Step =100:10:3000;
plot(Step,F(),Step,G(),Step,H(),Step,I());
 % Adding labels to the graph
xlabel('WL = 100 to 3000','FontSize',14)
ylabel('Transmission graph for different thicknesses [200 499 608
839]','FontSize',14)
title('Silicon layer')
```

لإيجاد منحنيات تغير $(\alpha h\nu)^2$ بتغير $h\nu$:

```
n0 = 1; % air refraction index
ns = 2.35; % medium refraction index
nsi = 3.4; % For silicon refraction index
opticthikness = [200 499 608 839];% e
nLayer =1; % Number of layers
Lmin=100;
Lmax=3000;
Lstep=10;
L1=100; % First layer Starter
L2=100; % Second layer Starter
L3=100; % Third layer Starter
L4=100; % Fourth layer Starter
R1 = ((ns-n0)/(ns+n0))^2;
R2 = ((nsi-ns)/(nsi+ns))^2;
n=0; % First loop Starter
m=0; % Second loop Starter
k=0; % Third loop Starter
o=0; % Fourth loop Starter

 for th=0:1:3;
     th=th +1;
```

```
 for W=Lmin:Lstep:Lmax;
    switch (th)
    case 1
 L1=L1+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L1);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa1 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 n = n +1;
 E1(n) = 1240/L1;
 A1(n) = Alfa1;
 AE1(n) = (1240/L1 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 F(n)= T;
    case 2
 L2=L2+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L2);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa2 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 m = m +1;
 E2(m) = 1240/L2;
 A2(m) = Alfa2;
 AE2(m) = (1240/L2 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 G(m)= T;
    case 3
 L3=L3+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L3);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa3 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 k = k +1;
 E3(k) = 1240/L3;
 A3(k) = Alfa3;
 AE3(k) = (1240/L3 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 H(k)= T;
    case 4
 L4=L4+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L4);
 T = (((1 - R1) * (1 - R2))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi)));
 Alfa4 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T);
 o = o +1;
 E4(o) = 1240/L4;
 A4(o) = Alfa4;
 AE4(o) = (1240/L4 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(T))^2;
 I(o)= T;
 end
 end
 end
 % Ploting outputs
plot(E1(),AE1(),E2(),AE2(),E3(),AE3(),E4(),AE4());
 % Adding labels to the graph
xlabel('Photon Energy E','FontSize',14)
ylabel('(Î±E)^2','FontSize',14)
title('Silicon layer')
```

من أجل منحنيات الانعكاسية:

```
n0 = 1; % air refraction index
ns = 2.35; % medium refraction index
nsi = 3.4; % For silicon refraction index
```

```
opticthikness = [200 499 608 839];% e
nLayer =1; % Number of layers
Lmin=100;
Lmax=3000;
Lstep=10;
L1=100; % First layer Starter
L2=100; % Second layer Starter
L3=100; % Third layer Starter
L4=100; % Fourth layer Starter
R1 = ((ns-n0)/(ns+n0))^2;
R2 = ((nsi-ns)/(nsi+ns))^2;
n=0; % First loop Starter
m=0; % Second loop Starter
k=0; % Third loop Starter
o=0; % Fourth loop Starter

 for th=0:1:3;
     th=th +1;
 for W=Lmin:Lstep:Lmax;
 switch(th)
    case 1
 L1=L1+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L1);
 R = ((R1 + R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) *
cos(fi)));
 Alfa1 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R);
 n = n +1;
 E1(n) = 1240/L1;
 A1(n) = Alfa1;
 AE1(n) = (1240/L1 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R))^2;
 F(n)= R;
    case 2
 L2=L2+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L2);
 R = ((R1 + R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) *
cos(fi)));
 Alfa2 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R);
 m = m +1;
 E2(m) = 1240/L2;
 A2(m) = Alfa2;
 AE2(m) = (1240/L2 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R))^2;
 G(m)= R;
    case 3
 L3=L3+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L3);
 R = ((R1 + R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) *
cos(fi)));
 Alfa3 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R);
 k = k +1;
 E3(k) = 1240/L3;
 A3(k) = Alfa3;
 AE3(k) = (1240/L3 *(((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R))^2;
 H(k)= R;
    case 4
 L4=L4+Lstep;
 fi =( 4 * pi * opticthikness(th) * ns/L4);
```

```
 R = ((R1 + R2 - 2 * sqrt(R1*R2) * cos(fi))/(1 + R1*R2 - 2 * sqrt(R1*R2) *
cos(fi)));
 Alfa4 = (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R);
 o = o +1;
 E4(o) = 1240/L4;
 A4(o) = Alfa4;
 AE4(o) = (1240/L4 * (((-1)*10^7)/ opticthikness(th))*log(R))^2;
 I(o)= R;
 end
 end
 end
 % Ploting outputs
Step =100:10:3000;
plot(Step,F(),Step,G(),Step,H(),Step,I());
 % Adding labels to the graph
xlabel('WL = 100 to 3000','FontSize',14)
ylabel('Reflection graph for different thicknesses [200 499 608
839]','FontSize',14)
title('Glass layer')
```

الملحـــق (2)

بيانات جهاز الأشعة السينية المستخدمة في معرفة بنية الأغشية الموضعة

بنية السيليكون:

(1)

ICDD Card # 27-1402

[CuKa]

Silicon/Silicon, syn

Silicon, syn

Formula			Subgroups		Vol.[CD]
Si			INO MIN ALL CP EDU FOR		160.1
Sys	S.G.	I/Icor	SS/FOM	Dx	Dm
Cubic	Fd-3m (227)	4.70	F11 = 442.9(.0019, 13)	2.329	
a	b	c	alpha	beta	gamma
5.43088					
A	C	Z	Quality mark		Mol. weight
		8	Star		28.09

Comments

T data coll.: Pattern taken at 25(1) C.
Reflections calculated from precision measurement of a0.
a0 uncorrected for refraction.
Add.pattern: To replace 00-005-0565 and 00-026-1481.
Color: Gray

References:
Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25Vol. 13 P.35 , 1976

2-Theta	Int	h	k	l
28.443	100	1	1	1
47.303	55	2	2	0
56.122	30	3	1	1
69.132	6	4	0	0
76.379	11	3	3	1
88.029	12	4	2	2
94.951	6	5	1	1
106.719	3	4	4	0
114.092	7	5	3	1
127.547	8	6	2	0
136.897	3	5	3	3

(2)

ICDD Card # 77-2109

[CuKa]

Silicon/Silicon

Silicon

Formula			Subgroups		Vol.[CD]
Si			INO MIN ALL FIZ		160.0
Sys	S.G.	I/Icor	SS/FOM	Dx	Dm
Cubic	Fd-3m (227)	4.55	F 7 = 999.9(.0000, 7)	2.331	
a	b	c	alpha	beta	gamma
5.42971					
A	C	Z	Quality mark		Mol. weight
		8	Calculated Pattern		28.09

Comments

T data coll.: REM TEM -195.6 C.
Add.pattern: See PDF 01-077-2110 and PDF 00-027-1402.

References:
Calculated from ICSD using POWD-12++, 1997
J. Chem. Phys.Vol. 41 P.2324 , 1964
Authors:
Batchelder, D.N., Simmons, R.O.

2-Theta	Int	h	k	l
28.449	999	1	1	1
47.314	546	2	2	0
56.136	298	3	1	1
58.871	1.	2	2	2
69.148	69	4	0	0
76.397	95	3	3	1
88.056	114	4	2	2

البنية السداسية:

الدرجة	المستويات البلورية	الدرجة	المستويات البلورية
عند الدرجة 27	(100)	عند الدرجة 63.8	(000)
عند الدرجة 28.5	(002)	عند الدرجة 72.75	(203)
عند الدرجة 30.5	(101)	عند الدرجة 76	(210)
عند الدرجة 39.5	(102)	عند الدرجة 77.5	(211)
عند الدرجة 47.5	(110)	عند الدرجة 82.25	(105)
عند الدرجة 52	(103)	عند الدرجة 83.25	(212)
عند الدرجة 55.5	(200)	عند الدرجة 89	(300)
عند الدرجة 56.5	(112)	عند الدرجة 92	(213)
عند الدرجة 57.5	(201)	عند الدرجة 95.5	(302)
عند الدرجة 62.75	(202)	عند الدرجة 101	(205)

Zinc blendeالبنية المكعبية البسيطة

الدرجة	المستويات البلورية	الدرجة	المستويات البلورية
عند الدرجة 28.25	(111)	عند الدرجة 79	(420)
عند الدرجة 33	(200)	عند الدرجة 88.5	(422)
عند الدرجة 47.5	(220)	عند الدرجة 95.5	(511)
عند الدرجة 56	(311)	عند الدرجة 107.5	(440)
عند الدرجة 59	(222)	عند الدرجة 115	(531)
عند الدرجة 69.5	(400)	عند الدرجة 128.75	(620)
عند الدرجة 77	(331)	عند الدرجة 138.5	(533)